

ADAPTAÇÃO FISIOLÓGICA DE CADETES AVIADORES À FORÇA G: O PAPEL DOS TREINAMENTOS FÍSICOS NO VOO DE ALTA PERFORMANCE

PHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF AVIATOR CADETS TO G-FORCE: THE ROLE OF PHYSICAL TRAINING IN HIGH PERFORMANCE FLIGHT

Gerson Oliveira Santos¹
Denilson Carlos Ferreira Lopes²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a implementação de exercícios musculares e aeróbicos para os cadetes aviadores do 4º Esquadrão com o foco de melhorar a resistência dos cadetes no quesito força G, durante os voos na aeronave T-27 Tucano. Teve também como objetivos específicos, primeiramente, apontar os principais efeitos adversos causados pela força G excessiva, como visão de túnel, *gray out* e *blackout*, que comprometem o desempenho e a segurança do voo. O programa prevê treinos anaeróbicos regulares na academia com duração mínima de 30 minutos e treinos aeróbicos em dias alternados. A exposição a intensas forças G durante manobras aéreas complexas pode provocar efeitos fisiológicos graves, como visão em túnel, *blackout* e a perda de consciência induzida por força G (G-LOC). Para mitigar esses efeitos, é utilizada a manobra AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*), que exige força muscular significativa, especialmente dos membros inferiores, glúteos e abdômen. O trabalho, de caráter qualitativo e exploratório, irá se basear em revisão bibliográfica e análise documental de fontes técnico-científicas e normativas. Os resultados apontam que os treinos anaeróbicos como musculação e exercícios de alta intensidade são eficazes no aumento da tolerância à força G, enquanto os treinos aeróbicos contribuem para a recuperação metabólica e saúde cardiovascular. Contudo, a predominância de treinos físicos padronizados entre todas as especialidades militares na AFA não contempla as necessidades fisiológicas específicas da aviação militar. Conclui-se que programas físicos personalizados, voltados ao fortalecimento da musculatura envolvida na AGSM e ao equilíbrio entre resistência cardiovascular e força muscular, são fundamentais para a segurança e desempenho dos cadetes em ambientes de alta carga gravitacional.

Palavras-chave: Força G; Cadete aviador; AGSM; T-27 Tucano; Treinamento físico; G-LOC.

¹ Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

² Doutor em Ciências Aeroespaciais pela UNIFA (2011), Mestre em Educação Física pela UNIMEP (2006), Graduado em Educação Física pela Fundação Educacional de São Carlos (1995), professor associado da Academia da Força Aérea. E-mail: denilsondcfl@fab.mil.br.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the implementation of muscular and aerobic exercises for the cadet pilots of the 4th Squadron, focusing on improving their G-force resistance during flights in the T-27 Tucano aircraft. The specific objectives included identifying the main adverse effects caused by excessive G-forces, such as tunnel vision, gray-out, and blackout, which compromise flight performance and safety. The training program includes regular anaerobic sessions at the gym lasting at least 30 minutes, and aerobic training on alternating days. Exposure to intense G-forces during complex aerial maneuvers can lead to severe physiological effects, such as tunnel vision, blackout, and G-induced Loss of Consciousness (G-LOC). To mitigate these effects, the Anti-G Straining Maneuver (AGSM) is used, which requires significant muscle strength, especially in the lower limbs, glutes, and abdominal region. This qualitative and exploratory study is based on a literature review and documentary analysis of technical-scientific and regulatory sources. The results indicate that anaerobic training, such as weightlifting and high-intensity exercises, is effective in increasing G-force tolerance, while aerobic training contributes to metabolic recovery and cardiovascular health. However, the predominance of standardized physical training across all military specialties at the Air Force Academy does not meet the specific physiological needs of military aviation. It is concluded that personalized physical programs, aimed at strengthening the musculature involved in AGSM and balancing cardiovascular endurance and muscle strength, are essential for the safety and performance of cadets in high-G environments.

Keywords: G-force; Cadet pilot; AGSM; T-27 Tucano; Physical training; G-LOC.

1 INTRODUÇÃO

A força gravitacional, ou força G, é a aceleração que o corpo humano experimenta em resposta à gravidade. Essa força é geralmente medida em múltiplos da gravidade da Terra (1G). Pilotos de aeronaves de treinamento militar, como o T-27 Tucano, frequentemente enfrentam intensas forças G durante manobras complexas, como *loop*, *immelman* e *retournement* (manobras que podem gerar até 4,5G). Essas acelerações elevadas resultam em aumento da pressão arterial nos membros inferiores e dificultam o fluxo sanguíneo para o cérebro, provocando o acúmulo de sangue nas extremidades inferiores (GO FLIGHT MEDICINE, 2013).

A intolerância à força G é causada, principalmente, pela redução do fluxo sanguíneo para o cérebro, especialmente para a retina, que é altamente sensível à hipóxia (NATO, 1990; FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2021). Inicialmente, os pilotos perdem a visão periférica (*tunnel vision*), o que pode evoluir para *gun barrel vision*, *gray out* (perda parcial da visão com consciência), *blackout* (perda total da visão com manutenção da consciência) e, por fim, o G-LOC (*G-induced Loss of Consciousness*), que representa a perda de consciência devido à insuficiência de perfusão cerebral.

Para mitigar esses efeitos, os pilotos utilizam equipamentos como trajes anti-G, que aplicam pressão sobre abdômen e membros inferiores, reduzindo o acúmulo de sangue nas pernas. Complementarmente, aplicam técnicas como a AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*), que combina respiração forçada com contrações musculares coordenadas dos músculos das pernas, glúteos e abdômen, mantendo a pressão arterial e o fluxo sanguíneo cerebral (UNITED STATES, 2014).

O desempenho da AGSM depende diretamente da força e resistência dos músculos envolvidos. Membros inferiores bem treinados melhoram a ação da bomba muscular periférica e aumentam a resistência vascular (WIEGMAN; BURTON; FORSTER, 1995), enquanto os músculos abdominais, quando contraídos intensamente, ajudam a conter o fluxo descendente de sangue (TESCH; HJORT; BALLDIN, 1983). Já os membros superiores, ao contribuírem com contrações isométricas, ampliam a eficácia da manobra (BULBULIAN et al., 1994). A flexibilidade também reduz o risco de lesões, enquanto a resistência cardiorrespiratória e a força da parte superior do corpo ampliam a tolerância geral ao esforço físico imposto pela força G (UNITED STATES, 2014).

Dessa forma, programas de condicionamento físico que envolvem exercícios musculares anaeróbicos e atividades aeróbicas têm papel essencial na formação dos cadetes aviadores. O treinamento anaeróbico, caracterizado por esforços intensos e de curta duração, desenvolve força e

resistência muscular localizadas, fundamentais para manter a tensão isométrica durante a AGSM. Já os exercícios aeróbicos, como corrida e ciclismo, promovem melhorias na capacidade pulmonar, na resistência cardiovascular e reduzem fatores de risco como hipertensão arterial sistêmica, distúrbio dos lipídios sanguíneos ou dislipidemia e percentual de gordura corporal (CRAIG, 2005).

Além disso, os estudos de Nato (1990), Bulbulian (1994), Silva Júnior (2006) e United States Air Force (2014) sugerem que a associação entre treinos aeróbicos e anaeróbicos potencializa os efeitos positivos na tolerância à força G. Corridas longas e treinos alternados com bicicleta ergométrica, aliados a sessões de musculação focadas nos músculos da panturrilha, quadríceps, isquiotibiais, glúteos e abdômen, contribuem significativamente para o preparo físico dos cadetes. O estímulo regular a essas áreas musculares favorece a execução eficiente da AGSM, bem como a sustentação da consciência e da visão em manobras de alta intensidade.

A seleção da aeronave T-27 Tucano como objeto de estudo fundamenta-se em sua centralidade no processo de formação dos cadetes aviadores do 4º Esquadrão da Academia da Força Aérea (AFA). Trata-se de uma plataforma de instrução primária avançada, amplamente empregada na preparação técnica e operacional dos futuros pilotos da Força Aérea Brasileira. Apesar de sua configuração para o treinamento, o T-27 é capaz de executar manobras aéreas acrobáticas complexas como *loop*, *immelman* e *retournement* que geram forças gravitacionais de até 6,0 G. Tal magnitude é suficiente para desencadear respostas fisiológicas significativas, como hipóxia transitória, visão de túnel e síncope, sem comprometer a segurança da instrução. Além disso, a padronização dos perfis de voo e a frequência regular das missões tornam a aeronave um ambiente experimental ideal para a investigação dos efeitos da força G sobre o organismo dos cadetes, bem como para a avaliação da eficácia de intervenções físicas, como treinamentos aeróbicos e anaeróbicos. Dessa forma, o estudo baseado no T-27 não apenas mantém elevada validade ecológica, como também apresenta aplicabilidade direta na formação e no desempenho operacional dos aviadores militares. Esse projeto teve como objetivo analisar a implementação de exercícios musculares e aeróbicos para os cadetes aviadores do 4º Esquadrão com o foco de melhorar a resistência dos cadetes no quesito força G, durante os voos na aeronave T-27 Tucano. Teve também como objetivos específicos, primeiramente, apontar os principais efeitos adversos causados pela força G excessiva, como visão de túnel, *gray out* e *blackout*, que comprometem o desempenho e a segurança do voo. Em seguida, buscou-se identificar os benefícios dos treinamentos aeróbicos e anaeróbicos na resistência à força G, observando como esses métodos contribuem para a melhora da execução da manobra AGSM. Também foram analisados padrões de desempenho físico que

favorecem a tolerância ao estresse fisiológico durante manobras de alta intensidade, com destaque para a fadiga muscular e sua relação com a necessidade de resistência localizada. Por fim, o estudo se propôs a comparar a eficácia entre os treinos aeróbicos e anaeróbicos, a fim de verificar qual tipo de preparação física oferece melhores resultados para os cadetes aviadores do 4º Esquadrão da AFA.

Para suportar elevadas cargas G, principalmente durante manobras complexas como o *loop*, *immelman* e *retournement* (podendo chegar até 6G) é necessário um programa de treinamento físico, essencial para pilotos, principalmente durante a fase de manobras e acrobacias (MAC). Os exercícios anaeróbicos podem ser desenvolvidos durante as atividades físicas, na academia do ginásio com duração mínima de 30 minutos, já os aeróbicos também podem ser realizados durante a atividade física, porém em dias alternados. Sendo assim, **de que maneira os treinos anaeróbicos (musculares) e aeróbicos poderiam contribuir na formação de jovens pilotos, como é o caso dos cadetes aviadores do 4º esquadrão da Academia da Força Aérea (AFA)?**

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A força G

A aceleração da gravidade terrestre é representada pela letra minúscula *g*, em itálico, e corresponde a aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$. Esse valor é utilizado como referência física em fórmulas e cálculos relacionados à mecânica e ao movimento dos corpos. Já a força G, com letra maiúscula, refere-se ao efeito fisiológico provocado por acelerações que multiplicam esse valor padrão de *g*, especialmente em contextos como aviação e automobilismo. Nesses casos, a força G indica quantas vezes o corpo está sendo submetido à aceleração gravitacional normal. Por exemplo, quando um piloto é submetido a $+5Gz$, significa que ele está experimentando uma força cinco vezes superior ao seu peso normal, no eixo cabeça-pés. Assim, utiliza-se *g* para descrever a unidade física de aceleração, e G para descrever a carga gravitacional percebida pelo corpo. A força G, como é tradicionalmente chamada na aviação, tem origem direta no conceito de força gravitacional desenvolvido por Isaac Newton no século XVII. Em sua obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), Newton definiu a força gravitacional como uma força central, exclusivamente atrativa, que atua à distância, cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto das massas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles (PRZYGOCKI, 2024).

Na superfície terrestre, a aceleração tem o valor próximo de $9,81 \text{ m/s}^2$, por ser direcionada ao centro da terra é justamente por ela que as pessoas e objetos permanecem presos na terra. Sabendo que a fórmula da força, conforme a 2ª lei de Newton é dada por “ $F=m*a$ ”, onde “F” representa a força resultante, “m” a massa do corpo e “a” a aceleração, a força que as pessoas sentem varia de acordo com a aceleração a que estão submetidas. Da mesma forma, ocorre também com os pilotos, durante os voos, ou seja quanto maior for a aceleração gravitacional que serão submetidos maior será a força aplicada (PRZYGOCKI, 2024).

Ainda que Newton (1687) tenha descrito a força gravitacional como uma força de ação à distância, momentos depois esse conceito foi reformulado na teoria da relatividade de Einstein em “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” de 1905, que passou a considerar a gravidade como uma curvatura do espaço-tempo. No entanto, para aplicações práticas como a aviação, o modelo newtoniano continua amplamente utilizado, pois fornece resultados suficientemente

precisos em situações de gravidade moderada, como as enfrentadas por pilotos em treinamento na aeronave T-27 Tucano.

Assim, a força G, quando experimentada por pilotos durante manobras aéreas, pode ser entendida como o resultado direto da interação gravitacional descrita por Newton, acrescida da aceleração gerada pelas mudanças bruscas de direção ou velocidade. Quando um piloto está sob 6,0G, sente o efeito de uma aceleração 6,0 vezes maior do que a gravidade terrestre normal, o que implica aumento substancial da carga sobre seu sistema cardiovascular e musculoesquelético

2.2 Os efeitos da força G no corpo humano

A força gravitacional, comumente denominada força G, representa a aceleração exercida sobre o corpo em resposta a mudanças na gravidade ou à ação de forças inerciais durante o voo. Ela é medida em múltiplos da gravidade terrestre ($1G = 9,81 \text{ m/s}^2$). No contexto da aviação militar, principalmente em aeronaves de alta performance, como caças ou treinadores avançados (ex.: T-27 Tucano), os pilotos podem ser submetidos a cargas de +Gz (do eixo cabeça-pés) que ultrapassam facilmente os 6G, especialmente durante manobras como *loopings* e curvas acentuadas (SILVA JÚNIOR, 2006)

O corpo humano foi projetado para operar sob 1G — a gravidade normal da Terra. Qualquer exposição a forças maiores, sobretudo ao longo do eixo vertical (+Gz), como ocorre em manobras de voo militar, exige respostas fisiológicas intensas e rápidas (USAFSAM, 2021). A retina é especialmente sensível à hipoperfusão. Quando a pressão arterial ocular cai abaixo da pressão intraocular (normalmente entre 10-20 mmHg), o fluxo de sangue é interrompido, gerando perda de visão periférica, seguida por visão em tubo e, se a situação persistir, por *blackout* (UNITED STATES AIR FORCE, 2014). Durante algumas manobras, o sangue tende a ser deslocado para as extremidades inferiores, o que compromete a irrigação cerebral e ocular, podendo levar a sintomas como visão em túnel, *gray-out*, *blackout* e, em casos mais severos, à perda de consciência induzida por G (G-LOC) (UNITED STATES AIR FORCE SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE, 2021). Essas forças impõem um desafio fisiológico significativo. À medida que o deslocamento do sangue da cabeça para as extremidades inferiores acontece resulta em uma redução do fluxo sanguíneo cerebral e ocular. Tal redução compromete o fornecimento de oxigênio (hipóxia) (COSTA, 2006). Vale ressaltar também que a exposição a forças -Gz (dos pés para a cabeça) também é perigosa, podendo causar *Red Out* (visão avermelhada) (UNITED STATES AIR FORCE SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE, 2021).

Estudo com pilotos da Força Aérea Americana e Europeia indica que a exposição à força G está fortemente associada a alterações na frequência cardíaca, no equilíbrio autonômico e na resposta ao estresse. Em situações de descompressão rápida, observou-se, por exemplo, episódios de bradicardia seguidos por taquicardia, evidenciando uma instabilidade autonômica aguda em resposta à hipóxia (HARTMANN et al., 2006).

Além disso, o corpo humano não possui um tempo de reação suficientemente rápido para se adaptar a aumentos repentinos de G. Por exemplo, um aumento rápido e sustentado pode esgotar as reservas de oxigênio cerebral em cerca de 4 a 6 segundos, levando a G-LOC sem sinais visuais prévios, o que torna essa condição extremamente perigosa em voo (SILVA JÚNIOR, 2006).

Os efeitos fisiológicos da força G também incluem fadiga muscular, dores cervicais (devido ao peso do capacete sob altas cargas G), prejuízos à cognição e, em longo prazo, alterações músculo-esqueléticas como lesões na coluna vertebral (SILVA JÚNIOR, 2006).

2.4 Benefícios dos treinamentos anaeróbicos e aeróbicos

A exposição a altas forças gravitacionais impõe exigências extremas sobre o organismo humano, especialmente no sistema cardiovascular e musculoesquelético. Nesse contexto, o treinamento físico assume papel fundamental na preparação dos pilotos para tolerar os efeitos fisiológicos da força G, principalmente durante manobras intensas e prolongadas.

Estudos conduzidos pelo grupo AGARD (*Advisory Group for Aerospace Research and Development*), da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte), indicam que o treinamento anaeróbico caracterizado por exercícios de alta intensidade e curta duração, como a musculação tem efeito direto e mensurável no aumento da tolerância à força G. Programas estruturados de força, com duração de 12 semanas, mostraram-se eficazes em elevar a tolerância dos pilotos em manobras simuladas de combate aéreo (SACM), com aumento de desempenho de até 53% nos Estados Unidos e 34% na Suécia (NATO, 1990).

Segundo Silva Júnior (2006), o treinamento anaeróbico, voltado para o desenvolvimento da força e da resistência muscular de curta duração, é crucial para sustentar a contração muscular isométrica exigida na execução da AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*). Essa manobra requer o recrutamento intenso de grupos musculares, sobretudo abdominais, glúteos e membros inferiores, de forma repetida e sincronizada, o que só é possível com uma base sólida de força anaeróbica. Estudos conduzidos com pilotos militares operacionais em centrífugas humanas mostraram que indivíduos submetidos a treinos de força (Musculação tradicional com pesos livres e aparelhos,

priorizando grandes grupos musculares com ênfase especial em membros inferiores a exemplo dos quadríceps, glúteos, isquiotibiais e panturrilhas e região abdominal), esses treinos tinham duração mínima de 6 semanas, com treinos 3 vezes por semana de 45 minutos a 1 hora, apresentaram aumento de até 43% na tolerância à força G, atingindo cargas superiores a 9G sem perder a consciência. Além de aumentar a capacidade do piloto de sustentar contrações isométricas intensas, necessárias para manter o sangue no tronco e na cabeça durante a exposição ao +Gz a prática regular de musculação também contribuiu para a hipertrofia e a estabilidade articular, reduzindo o risco de lesões em manobras de alta carga (UNITED STATES AIR FORCE, 2014).

O sistema anaeróbico compreende uma das principais vias metabólicas de ressíntese de adenosina trifosfato (ATP) em condições de ausência de oxigênio, sendo ativado predominantemente durante esforços de alta intensidade e curta duração. Este sistema divide-se em duas submodalidades: o anaeróbico alático e o anaeróbico láctico. O sistema anaeróbico alático, também denominado sistema ATP-CP (adenosina trifosfato fosfocreatina), utiliza o ATP armazenado nos músculos e a fosfocreatina como substratos energéticos imediatos. Já o sistema anaeróbico láctico opera a partir da glicólise anaeróbica, utilizando a glicose como principal substrato energético. Apesar de fornecer energia rapidamente, essa via resulta na formação de ácido láctico, o que pode contribuir para o aparecimento precoce da fadiga muscular. Sabendo disso, o sistema anaeróbico fornece energia imediata e explosiva para momentos críticos, como o início de manobras ou reações rápidas em combate aéreo. A potência anaeróbica está relacionada à capacidade do piloto de sustentar a manobra AGSM por mais tempo, o que influencia diretamente sua capacidade de manter a consciência, a visão e o controle da aeronave durante manobras intensas (SILVA JÚNIOR, 2006). Circuitos anaeróbicos de alta intensidade também simulam com precisão a exigência energética das manobras aéreas, melhorando a resistência à fadiga muscular localizada. Estudos do *Air Force Research Lab* também recomendam o fortalecimento anaeróbico como pilar essencial da prevenção ao G-LOC, quando associado a hábitos saudáveis e protocolos de voo controlados (WHINNERY; BURTON, 1985).

Por outro lado, o treinamento aeróbico baseado em exercícios de menor intensidade e longa duração, como corrida e ciclismo, não demonstrou aumento da tolerância à força G em testes padronizados (SILVA JÚNIOR, 2006). Embora contribua para a saúde cardiovascular geral, sua aplicação específica na resistência ao G é limitada. Observou-se também que indivíduos altamente condicionados em atividades aeróbicas intensas apresentaram maior incidência de arritmias cardíacas, episódios de G-LOC e recuperação mais lenta após a perda de consciência. Isso se deve,

em parte, à baixa pressão arterial de repouso e ao tônus simpático reduzido observados em atletas de endurance, o que compromete a resposta cardiovascular rápida exigida em situações de +Gz sustentado (NATO, 1990). Apesar dos reconhecidos benefícios do treinamento físico no desempenho operacional dos pilotos de caça, é imprescindível considerar as limitações associadas às diferentes modalidades de exercício. Em relação ao treinamento aeróbico, estudos apontam que essa prática não apresenta eficácia significativa no aumento da tolerância à força gravitacional (força G). Baldin (1984 apud PAIVA, 2014) destaca que o treinamento aeróbico pode não ser indicado nesse contexto, uma vez que o estímulo vagal promovido reduz a frequência cardíaca, podendo causar descontrole da pressão arterial e, conseqüentemente, diminuição da tolerância à força G. Além disso, o consumo máximo de oxigênio, o volume sanguíneo e o aporte de oxigênio aos capilares da musculatura esquelética tendem a apresentar correlação negativa com a tolerância às cargas G. Ainda que autores como Whinnery e Parnell (1987 apud PALMA; PAULICH, 1999) reconheçam a importância do condicionamento aeróbico para a saúde cardiovascular, não há, segundo esses mesmos autores, evidências estatisticamente significativas que sustentem uma relação positiva direta entre a aptidão aeróbia e a resistência à força G (OLIVEIRA, 2019). Estudos indicam que o excesso de treino aeróbico de longa duração pode reduzir excessivamente a frequência cardíaca de repouso, dificultando uma resposta simpática rápida em situações críticas e, paradoxalmente, aumentando a vulnerabilidade ao G-LOC em pilotos com alto tônus parassimpático basal. Então recomenda-se uma programação equilibrada entre resistência aeróbica e força muscular, a fim de garantir que ambos os sistemas (cardiorrespiratório e neuromuscular) estejam otimizados (UNITED STATES AIR FORCE, 2014).

Entretanto, para Silva Júnior (2006) o treinamento aeróbico desempenha papel complementar ao fortalecer o sistema cardiovascular e otimizar a recuperação metabólica. Atividades como corrida e ciclismo promovem a melhora da oxigenação tecidual, ajudam na ressíntese de ATP e promovem uma recuperação mais eficiente entre as manobras ou sessões de voo. Esses fatores são fundamentais, especialmente em missões prolongadas ou de alta frequência operacional. Contudo, vale destacar que o excesso de treinamento aeróbico, principalmente em níveis muito intensos, pode resultar em frequência cardíaca de repouso muito baixa, o que dificulta uma resposta cardiovascular rápida durante a exposição repentina à força G. Portanto, o equilíbrio entre os dois tipos de treino deve ser cuidadosamente planejado para atender às exigências operacionais sem comprometer a segurança fisiológica do piloto (SILVA JÚNIOR, 2006).

2.3 Adaptação à força G

A adaptação fisiológica à força G é um processo multifatorial, que envolve desde estratégias biomecânicas, como o uso da AGSM, até o condicionamento aeróbico, anaeróbico e a simulação em ambientes controlados; esse processo fisiológico complexo é indispensável para a segurança dos pilotos militares expostos a manobras de alta intensidade. Segundo o relatório técnico da AGARD (*Advisory Group for Aerospace Research and Development*), elaborado pela OTAN (1990), a exposição a acelerações superiores a 1G, particularmente na direção +Gz (cabeça-pés), compromete rapidamente a perfusão cerebral e ocular, podendo levar à perda de visão e, em casos mais críticos, à perda de consciência induzida por G (G-LOC) (NATO, 1990).

O treinamento para adaptação à força G torna-se essencial. A utilização de centrífugas humanas, como destacado por Albuquerque (2012), permite simular de forma progressiva e controlada as cargas G, possibilitando o desenvolvimento da tolerância fisiológica ao esforço. Exposições repetidas e curtas à força G, intercaladas com períodos de recuperação, demonstram ser mais eficazes do que sessões longas e contínuas, promovendo um processo adaptativo mais seguro e eficiente (ALBUQUERQUE, 2012).

A adaptação à força G envolve múltiplos mecanismos, sendo o mais eficaz a manobra de tensão anti-G (AGSM). Essa técnica combina contrações isométricas de grandes grupos musculares, especialmente das pernas, glúteos e abdômen com uma respiração controlada, em que o ar é expirado contra a glote fechada. Quando bem executada, a AGSM pode aumentar a tolerância à força G em até 4 a 4,6 G adicionais, oferecendo uma proteção significativa contra o G-LOC (*G-induced Loss of Consciousness*), condição que compromete seriamente a segurança do voo (UNITED STATES AIR FORCE, 2014).

Além disso, a aplicação de exercícios físicos combinados com o aumento progressivo da aceleração estimula a musculatura envolvida na AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*), aprimorando a resposta do sistema cardiovascular ao estresse. Esse tipo de treinamento ajuda o piloto a reconhecer os sintomas precoces de desorientação ou hipoperfusão, permitindo uma reação mais eficaz antes da ocorrência do G-LOC (ALBUQUERQUE, 2012).

Além do treinamento físico, o manual destaca a importância da adaptação fisiológica à força G, que pode ser desenvolvida por meio de sessões em centrífugas humanas. Essa exposição progressiva também permite ao piloto reconhecer os primeiros sintomas de hipoperfusão cerebral, como *tunnel vision* e *gray-out*, e reagir de forma eficaz antes que ocorra o G-LOC. A tolerância ao

G, no entanto, é reversível: pode diminuir em períodos de inatividade prolongada (14 a 28 dias), sendo necessária a prática contínua para manter a adaptação (UNITED STATES AIR FORCE, 2014). Burton e Whinnery (1985) afirmam que se os pilotos interrompem o treinamento ou se afastam das operações aéreas rapidamente perderão parte da sua capacidade adaptativa. Essa perda reforça a necessidade de treinamento frequente em centrífugas humanas, onde é possível simular acelerações crescentes e monitorar a eficácia da AGSM, além de re-acostumar o organismo à redistribuição de volume sanguíneo sob estresse gravitacional (BURTON; WHINNERY, 1985).

Diversos fatores fisiológicos, como o nível de hidratação, a temperatura corporal, a glicemia, a presença de infecções e a morfologia corporal, influenciam diretamente a capacidade de adaptação do indivíduo às exigências impostas pela força gravitacional (+Gz). Nesse contexto, além da preparação física específica, destaca-se a importância do uso do traje anti-G (*G-suit*), equipamento fundamental na aviação militar. O *G-suit* atua por meio da aplicação de pressões graduadas em regiões anatômicas estratégicas, principalmente abdômen, coxas e panturrilhas, com o objetivo de reduzir o acúmulo sanguíneo nos membros inferiores durante manobras de alta carga gravitacional, contribuindo significativamente para a prevenção da perda de consciência induzida por força G (G-LOC). Assim, o estado geral de saúde e o nível de condicionamento físico do piloto devem ser rigorosamente acompanhados, a fim de garantir maior segurança e desempenho durante o voo (ALBUQUERQUE, 2012).

Assim, a adaptação à força G é um processo dinâmico que requer preparo físico específico, técnica, repetição e autoconsciência corporal. A combinação entre a AGSM eficaz, o condicionamento físico balanceado e a exposição periódica ao ambiente de alto G constitui o tripé fundamental para a segurança e o desempenho ideal dos cadetes aviadores. Segundo os padrões estabelecidos pela OTAN, a adaptação à força G depende de uma abordagem integrada, que combina técnica respiratória, preparo muscular, exposição gradual e manutenção do estado geral de saúde. Essa preparação é vital para garantir a consciência situacional, a segurança do voo e a eficácia operacional dos pilotos de combate (NATO, 1990).

2.5 Rotina do cadete aviador

A prática de exercícios físico militar para cadetes aviadores é extremamente indispensável, dada a importância do condicionamento físico, uma vez que o cadete precisa cumprir uma rotina intensa de atividades nas quais são trabalhados vários grupos musculoesqueléticos, exercícios

aeróbicos e anaeróbicos que promovem a saúde física do militar em formação. Dessa forma, esses hábitos contribuem para um melhor condicionamento físico e por consequência cardiovascular, que aumenta a capacidade de velocidade e recuperação de lesões.

O quarto ano da formação do cadete aviador na Academia da Força Aérea (AFA) marca a fase final e mais exigente do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV). Trata-se de um período de transição entre a condição de cadete e a de futuro Oficial, caracterizado por intensa atividade prática, grandes responsabilidades de liderança e consolidação dos valores essenciais da vida militar (COMAER, 2025).

Nesse estágio, o cadete aviador já está totalmente integrado à Cadeia de Liderança dos Cadetes (CLC), exercendo funções relevantes como Líder de Curso, Líder de Esquadrão ou Líder de Elemento. Essas posições exigem postura ativa, disciplina consciente e compromisso com a formação dos cadetes mais novos, sendo também um exercício de preparação para o futuro comando de tropas e liderança de missões reais. A disciplina consciente, conceito central do manual, pressupõe que o cadete atue com ética, iniciativa e autocontrole mesmo na ausência de fiscalização direta, demonstrando maturidade e comprometimento institucional (COMAER, 2025).

No aspecto técnico-operacional, o foco se volta integralmente para a instrução aérea, sobretudo na aeronave T-27 Tucano, onde o cadete realiza manobras cada vez mais complexas. Essa fase inclui acrobacias, navegação aérea, procedimentos de emergência e voos táticos, exigindo domínio técnico, tomada de decisão sob pressão e excelente condicionamento físico. As manobras realizadas frequentemente expõem os cadetes a forças G de até 6,0 G, demandando não apenas proficiência na manobra AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*), mas também força muscular, resistência cardiovascular e consciência situacional (COMAER, 2025).

O 4º ano do CFOAV é o momento em que os cadetes são submetidos a avaliações operacionais finais, comportamentais e acadêmicas, culminando no brevetamento, cerimônia em que são oficialmente declarados aspirantes a oficiais aviadores da Força Aérea Brasileira (FAB). Portanto, essa etapa exige do cadete o mais alto nível de prontidão física, mental e ética, consolidando-o como um militar completo, pronto para integrar as fileiras da FAB como líder e operador de sistemas aeronáuticos complexos.

Paralelamente à instrução de voo, os cadetes seguem uma rotina física rigorosa, supervisionada pela Seção de Educação Física (SEF). As atividades são voltadas para a manutenção e aprimoramento da aptidão física geral, incluindo treinos aeróbicos e anaeróbicos, musculação, corridas e avaliações periódicas. A preparação física não apenas contribui para o desempenho em

voo, mas também reforça o equilíbrio mental e a capacidade de suportar as múltiplas demandas da rotina militar.

Os cadetes são divididos por equipes esportivas como futebol, natação, corrida, TFM (Treinamento Físico Militar), entre outras que funcionam como elementos de competição saudável, espírito de corpo e aperfeiçoamento físico contínuo. No entanto, não há distinção entre as especialidades (Aviação, Intendência e Infantaria) no que diz respeito aos treinamentos físicos regulares. Os cadetes aviadores participam dos treinamentos físicos conjuntamente com os demais cadetes dos três cursos, do 1º ao 4º ano, sendo submetidos à mesma rotina e aos mesmos critérios de avaliação de desempenho físico, independentemente das particularidades da aviação militar. Essa integração, embora favoreça o senso de coletividade e o padrão unificado de formação física, levanta o ponto de que os cadetes aviadores não recebem uma preparação física direcionada especificamente às exigências da atividade aérea, como a tolerância à força G, o fortalecimento da musculatura envolvida na AGSM e a adaptação fisiológica ao ambiente operacional de voo. Isso reforça a relevância de investigar, no contexto acadêmico, como a inclusão de treinos específicos (aeróbicos e anaeróbicos direcionados) poderia contribuir para o desempenho e a segurança desses cadetes em manobras de alta carga G.

2.6 Educação física personalizada

A rotina física atual dos cadetes da Academia da Força Aérea (AFA) é padronizada entre as especialidades de Aviação, Intendência e Infantaria, conforme o Manual do Cadete da Aeronáutica (COMAER, 2025), sendo conduzida de forma integrada por meio de equipes de esporte e desempenho físico. No entanto, os cadetes aviadores não contam com um programa de treinamento específico voltado às demandas fisiológicas do voo, o que contrasta com as exigências operacionais da instrução aérea, particularmente no que se refere à exposição constante à força G.

Os estudos realizados pela *United States Air Force* (2014) apontam que a capacidade de resistir aos efeitos da força G, especialmente na direção +Gz (cabeça-pés), pode ser significativamente ampliada com intervenções físicas bem estruturadas. Um programa ideal para pilotos deve conter quatro componentes principais: força muscular, resistência aeróbica, técnica de AGSM e preparação mental/fisiológica. O documento reforça que a prática regular de musculação e exercícios anaeróbicos fortalece os músculos envolvidos na manobra de tensão anti-G, enquanto o

condicionamento aeróbico contribui para a recuperação entre as manobras e otimiza o transporte de oxigênio pelo organismo (UNITED STATES AIR FORCE, 2014)

De forma complementar, o relatório *AGARD-AG-322* (1990) recomenda que o treinamento físico de pilotos seja orientado de maneira direcionada, priorizando os grupos musculares essenciais para a execução eficaz da AGSM como quadríceps, glúteos, isquiotibiais, abdominais e panturrilhas, associados à capacidade de manter contrações isométricas sob fadiga. O mesmo documento salienta que “o preparo físico deve integrar componentes aeróbicos e de força, e ser mantido mesmo durante os períodos de instrução aérea intensiva” (NATO, 1990)

O relatório da FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (2021) também reconhece a importância do equilíbrio entre os dois sistemas energéticos. De acordo com a publicação, o treinamento aeróbico melhora a função cardiovascular, porém, quando realizado isoladamente, pode reduzir a frequência cardíaca basal a níveis que comprometem a resposta rápida do corpo à sobrecarga gravitacional. Por isso, recomenda-se “um programa híbrido que combine resistência e força muscular, aliado ao domínio técnico da manobra anti-G” (UNITED STATES AIR FORCE SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE, 2021)

Nesse sentido, a dissertação de Silva Júnior (2006) mostra que pilotos treinados com foco em força muscular localizada apresentaram um aumento expressivo na tolerância à força G em testes realizados com centrífugas humanas, atingindo até 9G sem perda de consciência. O autor argumenta que o fortalecimento muscular tem efeito direto na sustentação da AGSM e na resistência à hipóxia cerebral durante manobras prolongadas (SILVA JÚNIOR, 2006).

Além disso, a resistência à força G é reversível e pode ser perdida com semanas de inatividade (UNITED STATES AIR FORCE, 2014). Portanto, o treinamento físico dos cadetes aviadores deve ser mantido continuamente durante todo o ano, mesmo nos períodos mais intensos da instrução aérea, com ajustes de volume e intensidade conforme a carga de voo.

3 METODOLOGIA

A metodologia qualitativa, característica dessa pesquisa, preocupa-se em analisar e interpretar aspectos mais profundos descrevendo a complexidade do comportamento humano. Fornece análises mais detalhadas sobre investigações, hábitos, atitudes e tendências do comportamento, etc (Marconi; Lakatos, 2010).

Considerando a fala de Eva Maria Lakatos e Marina de Andrade Marconi (2010) sobre a metodologia, nosso trabalho é caracterizado por um estudo qualitativo com foco na pesquisa bibliográfica cujo o objetivo principal é analisar os benefícios da implementação de exercícios aeróbicos e anaeróbicos na preparação física dos cadetes aviadores do 4º Esquadrão da Academia da Força Aérea (AFA), com foco na melhora da resistência à força G durante os voos com a aeronave T-27 Tucano. É sabido que para que um cadete aviador realize manobras em aeronaves como T 27 Tucano, esse indivíduo deve possuir um condicionamento físico de excelência se considerado os impactos que a Força G exerce sobre o mesmo. E é sabido também que é o trabalho musculoesquelético juntamente com os exercícios aeróbicos e anaeróbicos com base em um protocolo de treinamento na preparação física de militares pilotos, que darão ao cadete aviador essa condição.

Dessa forma, e utilizando método de análise e interpretação do estudo bibliográfico, focamos no problema deste artigo e assim ao aprofundar a pesquisa encontramos caminhos para descrever as possibilidades dos resultados de nossas análises destacando as ideias de Burton (1987), Bulbulian (1994), Forster (1995), Craig (2005), e Vinícius Przygocki (2024).

Para buscar entender tal fenômeno as ideias desses teóricos, adotamos procedimentos metodológicos de análise documental (Marconi; Lakatos, 2010). Com o objetivo de compreender o ambiente onde ocorrem os treinamentos, as exigências e desafios do mesmo, interpretar as necessidades no grupo em foco (cadetes aviadores do 4 ano da Academia da Força Aérea) foi indispensável.

Este trabalho configura-se como uma pesquisa exploratória, de abordagem qualitativa. De acordo com Gil (2019), pesquisas exploratórias são indicadas quando o tema ainda apresenta lacunas conceituais ou exige aproximações iniciais que sirvam de base para investigações futuras mais profundas. Assim, este estudo se propôs a levantar informações, percepções e evidências científicas que possam embasar sugestões para a melhoria da formação física dos cadetes aviadores.

A pesquisa teve como foco a realidade vivenciada pelos cadetes aviadores do 4º Esquadrão da Academia da Força Aérea (AFA), considerando a padronização da rotina de treinamento físico aplicada igualmente aos cadetes dos cursos de Aviação, Intendência e Infantaria. As informações analisadas foram extraídas do Manual do Cadete da Aeronáutica (COMAER, 2025) além de literatura técnico-científica nacional e internacional. Destaca-se que os dados refletem a vivência institucional e as exigências específicas da instrução aérea, incluindo a exposição dos cadetes a elevadas forças G durante as manobras no T-27 Tucano.

A coleta de informações foi realizada por meio de análise documental, utilizando como fontes o manual AFPAM 11-419 (United States Air Force, 2014), o relatório AGARD-AG-322 (NATO, 1990), o Manual do Cadete da Aeronáutica (COMAER, 2025), além de dissertações, artigos científicos a exemplo do Silva Júnior (2006) e relatórios técnicos. O levantamento bibliográfico abrangeu temas como fisiologia da força G, execução da manobra AGSM (*Anti-G Straining Maneuver*), condicionamento físico militar e prevenção do G-LOC (perda de consciência induzida por força gravitacional).

A análise das informações foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo temática, conforme proposta por Bardin (2016). Os dados foram organizados em categorias como: deficiências no treinamento físico dos cadetes aviadores, demandas fisiológicas específicas do voo militar, importância da AGSM e sugestões de intervenção física para melhoria da tolerância à força G. Alguns dados quantitativos encontrados em relatórios técnicos e estudos científicos foram utilizados de forma complementar, apenas para reforçar e ilustrar as análises qualitativas.

Todas as fontes utilizadas são públicas ou acadêmicas, e foram analisadas com rigor metodológico e respeito ético, garantindo fidelidade às informações originais e às normas da pesquisa científica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise integrada dos estudos técnico-científicos, documentos institucionais e evidências experimentais permitiu compreender com maior profundidade os efeitos da força G sobre os cadetes aviadores e a efetividade dos treinamentos físicos na mitigação desses efeitos.

O desempenho dos cadetes aviadores diante da força G está diretamente relacionado ao tipo de treinamento físico adotado. A seguir, apresenta-se uma síntese comparativa entre os principais métodos de treino aeróbico, anaeróbico e alático com foco na sua eficácia fisiológica durante voos sob alta carga gravitacional.

Tabela 1 Eficácia dos tipos de treinamento na tolerância à força G

Tipo de Treinamento	Intensidade	Duração	Grupo muscular ativado	Influência na tolerância ao G
Aeróbico (corrida, ciclismo)	Baixa a moderada	Longa	Grupos gerais (sistêmico)	Baixa – sem impacto significativo
Anaeróbico (musculação, isometria)	Alta	Curta	Glúteos, quadríceps, abdômen	Alta – melhora a capacidade de realizar AGSM
Alático (explosão, sprints)	Muito alta	Muito curta	Core e membros inferiores	Moderada a alta – útil para respostas rápidas

Fonte: Adaptado de Silva Júnior (2006).

Os dados demonstram que o treinamento anaeróbico apresenta o maior impacto na tolerância ao G, sendo essencial para sustentar a manobra AGSM com eficiência. Por outro lado, os exercícios aeróbicos, embora importantes para a saúde geral e recuperação, não produzem impacto significativo na resistência ao G, corroborando estudos de Silva Júnior (2006), FAA (2021) e NATO (1990).

De maneira geral, os resultados apontam que o treinamento anaeróbico apresenta maior impacto direto no aumento da tolerância à força G, especialmente devido à exigência de força isométrica sustentada durante a execução da manobra AGSM (Anti-G Straining Maneuver). Conforme demonstrado por Bulbulian et al. (1994), a combinação entre treinos de força e exposição em centrífugas humanas resultou em um aumento significativo da tolerância ao +Gz. De forma

semelhante, Silva Júnior (2006) relata que cadetes submetidos a treinos de força por pelo menos seis semanas foram capazes de suportar acelerações superiores a 9G sem perda de consciência.

A manobra AGSM exige força e resistência específicas, especialmente nas musculaturas antigravitacionais. A eficácia dessa manobra está ligada ao tipo de contração muscular predominante durante os treinos. A seguir, apresenta-se uma análise comparativa entre os principais tipos de contração muscular e sua aplicabilidade prática à AGSM.

Tabela 2 Relação entre tipo de contração muscular e a eficácia na execução da AGSM

Tipo de Contração Muscular	Exemplos de Exercício	Relevância na AGSM
Isométrica	Prancha abdominal, contração de glúteos	Essencial – sustentação da pressão intratorácica
Isotônica concêntrica	Agachamentos, leg press	Importante para o condicionamento muscular de base
Isotônica excêntrica	Flexão excêntrica, descida no agachamento	Menor influência direta na AGSM

Fonte: Adaptado de Silva Júnior (2006).

A contração isométrica é destacada como a mais relevante para o controle da manobra AGSM, pois promove o aumento da pressão intratorácica e melhora o retorno venoso cerebral durante picos de aceleração. Já os movimentos concêntricos e excêntricos são importantes como base de sustentação, mas com impacto reduzido na fase aguda da tolerância ao +Gz.

O presente estudo reforça que o sistema anaeróbico, particularmente o sistema ATP-CP (anaeróbico alático), é essencial durante manobras intensas de curta duração, fornecendo energia rápida para manter contrações musculares intensas nos músculos das pernas, glúteos e abdômen áreas fundamentais para a eficácia da AGSM (WIEGMAN; BURTON; FORSTER, 1995; SILVA JÚNIOR, 2006).

Em contrapartida, o treinamento aeróbico, embora apresente papel relevante na recuperação metabólica e na manutenção da saúde cardiovascular, não demonstrou eficácia significativa na melhora da tolerância à força G em testes padronizados (NATO, 1990; SILVA JÚNIOR, 2006; FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2021). Estudos apontam que indivíduos com elevada aptidão aeróbica apresentaram maior suscetibilidade ao G-LOC, em função da frequência cardíaca de repouso muito baixa e da diminuição da responsividade simpática (BALDIN apud PAIVA, 2014;

OLIVEIRA, 2019). Tais condições dificultam a rápida resposta pressórica exigida sob alta carga gravitacional.

A resposta fisiológica ao treinamento varia conforme a natureza do exercício. A tabela a seguir resume os principais efeitos dos treinamentos aeróbico, anaeróbico e alático sobre parâmetros fisiológicos diretamente ligados à performance em manobras sob alta força G.

Tabela 3 Efeitos fisiológicos esperados dos tipos de treino sobre a tolerância à força G

Parâmetro Fisiológico	Aeróbico	Anaeróbico	Alático
Capacidade de tamponamento láctico	Moderada	Alta	Alta
Recrutamento neuromuscular	Baixo	Alto	Muito alto
Hipertrofia localizada	Baixa	Alta	Moderada
Eficiência cardiovascular	Alta	Moderada	Baixa
Tolerância à força G	Baixa	Alta	Moderada a alta

Fonte: Adaptado de Silva Júnior (2006).

A tolerância à força G está diretamente associada à capacidade de recrutamento neuromuscular, hipertrofia muscular e resposta alática explosiva. O treino anaeróbico destaca-se por promover adaptações mais duradouras e específicas. Já o treinamento alático contribui com ações rápidas, sendo útil em manobras de curta duração. O treino aeróbico, apesar de aumentar a eficiência cardiovascular, tem baixa influência direta sobre a tolerância à força G.

Apesar dessas limitações, autores como Craig (2005) e o United States Air Force (2014) defendem que o condicionamento aeróbico deve ser mantido como componente complementar, pois melhora o transporte de oxigênio, favorece a recuperação entre manobras e contribui para a resistência global em missões prolongadas.

Outra questão levantada refere-se à padronização da rotina física entre as especialidades militares na Academia da Força Aérea (COMAER, 2025). O presente estudo identificou que os cadetes aviadores seguem o mesmo programa de treinamento físico dos cadetes da Intendência e da Infantaria, sem considerar as demandas fisiológicas específicas da aviação, como a resistência ao G-LOC, o fortalecimento da musculatura envolvida na AGSM e a execução de manobras de até 6G na aeronave T-27 Tucano.

Diversos estudos recomendam a implementação de programas personalizados de treinamento, com foco na musculatura antigravitacional (quadríceps, glúteos, isquiotibiais, panturrilhas e abdômen), associando exercícios anaeróbicos a estratégias respiratórias e simulações em centrífugas humanas (NATO, 1990; ALBUQUERQUE, 2012; UNITED STATES AIR FORCE, 2014). Segundo Albuquerque (2012), a repetição controlada de exposições ao G em centrífugas permite aprimorar a resposta fisiológica e antecipar sintomas de desorientação, como tunnel vision e gray-out, antes que o G-LOC ocorra.

Além disso, fatores fisiológicos como nível de hidratação, morfologia corporal, temperatura corporal e infecções também interferem na adaptação à força G (UNITED STATES AIR FORCE SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE, 2021), o que reforça a importância de um acompanhamento físico e médico contínuo dos cadetes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou analisar os benefícios da implementação de exercícios aeróbicos e anaeróbicos na preparação física dos cadetes aviadores do 4º Esquadrão da Academia da Força Aérea (AFA), com foco na melhora da resistência à força G durante os voos com a aeronave T-27 Tucano. Nos ambientes de altas cargas gravitacionais, o voo impõe um desgaste metabólico e cardiocirculatório ao organismo e esse evento compromete de forma nociva a visão e a consciência do piloto. Levando em consideração esse evento, este estudo tem por foco explicar de que maneira os treinos anaeróbicos (musculares) e aeróbicos podem contribuir para o aumento da tolerância à força G na formação de jovens pilotos da AFA, especialmente durante as manobras executadas na fase MAC (Manobras e Acrobacias).

Com base em nossos estudos, os dados obtidos reforçam a relevância do fortalecimento da musculatura antigravitacional, bem como da melhora da resistência anaeróbica, como fatores decisivos para o desempenho físico e a segurança operacional dos aviadores militares.

Mediante o exposto, não almejamos aqui esgotar a temática, mas contribuir de forma relevante para a prática de educação física militar geral, bem como para a importância de conhecer a fisiologia do exercício para cadetes aviadores da Academia da Força Aérea oferecendo embasamentos práticos e teóricos para o aprimoramento do condicionamento físico dos cadetes aviadores.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo analisar a implementação de exercícios musculares e aeróbicos para os cadetes aviadores do 4º Esquadrão com o foco de melhorar a resistência dos cadetes no quesito força G, durante os voos na aeronave T-27 Tucano. Teve também como objetivos específicos, primeiramente, apontar os principais efeitos adversos causados pela força G excessiva, como visão de túnel, *gray out* e *blackout*, que comprometem o desempenho e a segurança do voo. A partir da análise de documentos institucionais e científicos, foi possível compreender os fatores fisiológicos envolvidos na tolerância à força G, com destaque para a importância da técnica AGSM, do preparo muscular específico e do condicionamento cardiorrespiratório.

O levantamento bibliográfico evidenciou que, embora a rotina física dos cadetes seja estruturada e abrangente, não há diferenciação no treinamento entre as especialidades de Aviação, Intendência e Infantaria. Isso pode representar uma lacuna no processo de formação dos aviadores, uma vez que as demandas fisiológicas do voo, especialmente em manobras de alta carga G, são específicas e exigem adaptações musculares e respiratórias particulares.

Diversos autores, como Burton e Whinnery (1985), Nato (1990), Federal Aviation Administration (2021) e o United States Air Force (2014), defendem a implementação de treinamentos voltados ao fortalecimento dos músculos responsáveis pela sustentação da AGSM, além de estratégias para manter a resposta cardiovascular adequada durante o voo. A partir dessas evidências, entende-se que há um potencial significativo na criação de programas físicos específicos para cadetes aviadores, que poderiam complementar a formação atual, alinhando a prática nacional às recomendações de forças aéreas de referência mundial.

Portanto, esta pesquisa não buscou comprovar hipóteses, mas sim levantar subsídios e reflexões que possam embasar futuras intervenções práticas, avaliações fisiológicas mais precisas e adaptações curriculares no processo de formação física do cadete aviador.

Como sugestão para estudos posteriores, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas experimentais que comparem grupos com e sem treinamento direcionado, além da aplicação de testes práticos em ambiente simulado ou operacional, como o uso de centrífugas humanas ou simulações de voo com monitoramento fisiológico.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Marcelo Possamai.** Desenvolvimento de uma centrífuga humana movida a exercício para treinamento de pilotos e pesquisas aeroespaciais. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- BAIN, B. et al.** Respiratory muscle fatigue during simulated air combat maneuvering. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 68, p. 118-125, 1997.
- BARDIN, Laurence.** Análise de conteúdo. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BULBULIAN, R. et al.** The effects of strength training and centrifuge exposure on +Gz tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 65, p. 1097-1104, 1994.
- BURTON, R. R.; WHINNERY, J. E.** Operational G-Induced Loss of Consciousness: Something Old; Something New. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 56, n. 8, p. 812-817, 1985.
- BURTON, R. R.; WHINNERY, J. E.; FORSTER, E. M.** Anaerobic energetics of simulated aerial combat maneuver (SACM). *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 58, p. 761-767, 1987.
- CÁCERES, Ana Manhani; GÂNDARA, Juliana Perina; PUGLISI, Marina Leite.** Redação científica e a qualidade dos artigos: em busca de maior impacto. *Jornal da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 401-406, 2011.
- CHAROUX, OMG.** Metodologia: Processo de Produção e Relato do Conhecimento. São Paulo: DVS Editora, 2004.
- COMANDO DA AERONÁUTICA.** Manual do Cadete da Aeronáutica – 2025. Pirassununga: Academia da Força Aérea, 2025.
- CRAIG, W. B.** What is the physiologic limit of aerobic performance? *Strength and Conditioning Journal*, v. 27, n. 3, p. 57-58, 2005.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION.** Acceleration in aviation: G-Force. Aerospace Medical Education Division, AAM-400, 2021.
- GIL, Antônio Carlos.** Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GO FLIGHT MEDICINE.** Pulling G's: The effects of G-forces on the human body.
- GUIMARÃES, A. O. B.** A influência do treinamento aeróbio e anaeróbio na performance do piloto de caça. *Revista de Educação Física*, Rio de Janeiro, v. 75, n. 133, p. 43-48, mar. 2006.
- HARTMANN, R. C. et al.** Modelos de simulação para avaliação do estresse psicofisiológico em pilotos militares. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, v. 28, n. 3, p. 97-116, 2006.

KUBE, L. C.; MOREIRA, S. B. C. C. Carga laboral, distribuição de estresse e aptidão físico-profissional de cadetes aviadores da Academia da Força Aérea. *Revista Conexões SIPAER*, v. 4, n. 2, p. 94-113, 2013.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V. Fundamentos de Metodologia Científica. 07 ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2010.

MEDEIROS, João Bosco. Redação científica: a prática de fichamentos, resumos e resenhas. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MENEZES, Pedro. Referencial Teórico: o que é e como fazer. *Significados*.

NATO. High G physiological protection training. AGARD-AG-322. Organização do Tratado do Atlântico Norte, 1990.

NEWMAN, D. G.; WHITE, S. W.; CALLISTER, R. Head position for high +Gz loads: an analysis of the techniques used by F/A-18 pilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 68, n. 8, p. 732-735, 1997.

NEWMAN, D. G.; WHITE, S. W.; CALLISTER, R. Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for +Gz tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 70, p. 739-744, 1999.

NEWTON, I. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londres: Royal Society, 1687.

OLIVEIRA, Daniel Vitor Alves de. *A influência do treinamento físico no desempenho operacional do piloto de caça*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2019.

OKSA, J. et al. The effect of lumbar support on the effectiveness of anti-g straining maneuvers. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 74, n. 8, p. 886-890, 2003.

PAIVA, P. C. O papel da atividade física na tolerância à força G dos aviadores de caça da Força Aérea Brasileira. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aeroespaciais) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2014.

PRZYGOCKI, Vinicius. A força G e seus efeitos no corpo humano. *GPET Física*, Unicentro, 21 set. 2024.

SARACEVIC, Tefko. Ciência da informação: origem, evolução e relações. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 41-62, jan./jun. 1996.

SILVA JÚNIOR, Francisco da Costa e. Atividade física dos pilotos de caça da FAB: análise da realidade e proposição de estratégias para implantação de programas de exercícios. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aeroespaciais) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2006.

TESCH, P. A.; BALLDIN, U. I. Muscle fiber type composition and G-tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 55, p. 1000-1003, 1984.

TESCH, P. A.; HJORT, H.; BALLDIN, U. I. Effects of strength training on G tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 54, p. 691-695, 1983.

UNITED STATES. Department of the Air Force. AFPAM 11-419: G awareness for aircrew. 17 out. 2014.

UNITED STATES AIR FORCE SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE. Acceleration in Aviation: G-Force. Wright-Patterson Air Force Base, 2021.

WIEGMAN, J. F.; BURTON, R. R.; FORSTER, E. M. The role of anaerobic power in human tolerance to simulated aerial combat maneuvers. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 66, p. 938-942, 1995.