



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO
OPERACIONAL

MARITZA FABIANA SEPULVEDA SOARES, 1º Ten QOCON FIS

**Função Pulmonar em Pilotos e Combate da Força Aérea Brasileira: Quais efeitos
Crônicos da exposição?**

Rio de Janeiro
2022

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO
OPERACIONAL

MARITZA FABIANA SEPULVEDA SOARES, 1º Ten QOCON FIS

Função Pulmonar em Pilotos e Combate da Força Aérea Brasileira: Quais efeitos Crônicos da exposição?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano Operacional da Universidade da Força Aérea como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desempenho Humano Operacional. Orientador (a): Profa. Dra. Paula Morisco de Sá.

Rio de Janeiro

2022

Sepúlveda, Maritza

S479f Função pulmonar em pilotos e combate da Força Aérea Brasileira: Quais efeitos crônicos da exposição? / Maritza Sepúlveda. – Rio de Janeiro: Universidade da Força Aérea, 2022.
082 f.: il., enc.

Orientador: Prof. Dra. Paula Morisco de Sá
Dissertação (mestrado) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2022.

Referências: f. 056-064

1. Piloto Militar. 2. Altitude Elevada. 3. Força de Aceleração. 4. Função Pulmonar I. Título. II. Sá, Paula Morisco de. III. Universidade da Força Aérea.

CDU: 358.4:612.24

MARITZA FABIANA SEPULVEDA SOARES, 1º Ten QOCON FIS

Função Pulmonar em Pilotos e Combate da Força Aérea Brasileira: Quais efeitos Crônicos da exposição?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano Operacional da Universidade da Força Aérea como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desempenho Humano Operacional. Orientador (a): Profa. Dra. Paula Morisco de Sá.

Aprovado por:

Paula Morisco de Sá

Presidente, 1T QOCon FIS **Paula Morisco de Sá**, professora doutora

*Daniele Bittencourt
Ferreira 1º TEN FIS*

Membro interno, 1T QOCon FIS **Daniele Bittencourt** Ferreira, professora doutora

Álvaro

Membro externo, Professor Doutor **Álvaro Camilo Dias Faria**

Rio de Janeiro
Novembro de 2022

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter provido tudo em todo momento. À Ele toda minha vida.

À minha família por toda a compreensão em especial minha mãe Eliane e meu marido Marcelo.

À minha imensa e interminável gratidão a minha professora e orientadora Paula Morisco de Sá que foi incansável em todos os momentos.

À Força Aérea Brasileira pela oportunidade de oferecer o Programa de Mestrado e por todas outras experiências.

Aos professores Pedro Lopes de Melo, Grace Barros de Sá, Daniele Bittencourt Ferreira e Álvaro Camilo Dias Faria pela importante contribuição acadêmica.

À todos os professores do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Humano Operacional da Universidade da Força Aérea e a todos os meus caros colegas de turma.

E por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização desse trabalho.

EPÍGRAFE

Deem graças ao Senhor, porque ele é bom.

O seu amor dura para sempre!

Salmos 136:1

RESUMO

Os Pilotos de combate de Força Aérea Brasileira (FAB) são expostos, constantemente, a condições que envolvem altitudes elevadas e alta força de aceleração, conhecida como força G. Diante de tais exposições, a função pulmonar destes sujeitos pode sofrer a influência dos efeitos adversos, através de mecanismos de compensação fisiológica. Diante disso, esse trabalho tem o objetivo de descrever eventuais modificações de função pulmonar nos pilotos de combate da FAB. Como desenho, apresentamos um estudo transversal controlado, com amostra selecionada por conveniência, sendo o grupo de exposição formado por voluntários pilotos de esquadrões de Transporte e de Caça, do Rio de Janeiro, pertencentes a FAB. O grupo controle foi composto por não-aeronavegantes, militares ou não, não sedentários e semelhantes ao grupo de exposição nos critérios de idade, peso e altura. O total de voluntários foi de 39, sendo 19 do grupo de pilotos e 20 controles. Os testes de função utilizados foram Espirometria, Pletismografia e Técnicas de Oscilações Forçadas no modelo multifrequência, nesta ordem. Como principais resultados observamos aumento dos valores médios de função pulmonar medidos através da espirometria no GPilotos em relação ao GControle, com modificação significativa para o parâmetro VEF_1 ($p \leq 0,03$), e decréscimo para os parâmetros medidos pela pletismografia, com modificações significativas para VR (L e %, $p \leq 0,01$), CPT % ($p \leq 0,01$), VR/CPT (L e %, $p \leq 0,00$), para os parâmetros de análise a partir da Técnica de Oscilações forçadas observamos valores médios mais elevados para Resistência e Impedância do Sistema respiratório, porém sem modificações significativas. Na comparação entre três grupos, GControle, GTransporte e GCaça, observamos situação semelhante considerando valores progressivos. Quando avaliados de acordo com as horas de voo, observamos valores médios elevados para as medidas de fluxo pulmonar, decréscimo dos valores médios de volume pulmonar, e a resistência e a impedância do sistema respiratório aumentaram, de acordo com o aumento das horas de voo. Diante deste, é possível inferir que as modificações sutis como as observadas nesta pesquisa, com ligeiro incremento progressivo da função pulmonar na comparação entre GControle, GTransporte e GCaça, podem ser reflexo de adaptações do sistema respiratório a exposição do trabalho em altitude elevada, assim como, sobrecarga G, em pequenas doses e ao longo de muitos anos de trabalho, e não devem ser desconsideradas.

Palavras – chave: Piloto Militar; Altitude Elevada; Força de Aceleração; Função Pulmonar.

Abstract

The Brazilian Air Force (FAB) combat pilots are constantly exposed to conditions that involve high altitudes and high acceleration force, known as G-force. Faced with such exposures, the lung function of these subjects can be influenced by adverse effects, through physiological compensation mechanisms. Therefore, this work aims to describe possible changes in lung function in FAB combat pilots. As a design, we present a cross-sectional controlled study, with a sample selected by convenience, with the exposure group formed by pilot volunteers from Transport and Hunting squadrons, from Rio de Janeiro, belonging to the FAB. The control group was composed of non-aircraft, military or not, non-sedentary and similar to the exposure group in terms of age, weight and height. The total number of volunteers was 39, 19 from the pilots group and 20 from controls. The function tests used were Spirometry, Plethysmography and Forced Oscillation Techniques in the multifrequency model, in that order. As main results, we observed an increase in the mean values of pulmonary function measured by spirometry in the GPilots in relation to the GControl, with a significant modification for the FEV1 parameter ($p \leq 0.03$), and a decrease for the parameters measured by plethysmography, with significant changes for VR (L and %, $p \leq 0.01$), CPT % ($p \leq 0.01$), VR/CPT (L and %, $p \leq 0.00$), for the analysis parameters from the Forced Oscillation Technique we observed higher mean values for Resistance and Impedance of the Respiratory System, but without significant changes. When comparing three groups, GControle, GTransporte and GCaça, we observed a similar situation considering progressive values. When evaluated according to flight hours, we observed high mean values for pulmonary flow measurements, a decrease in mean lung volume values, and respiratory system resistance and impedance increased with increasing flight hours. In view of this, it is possible to infer that subtle changes such as those observed in this research, with a slight progressive increase in lung function in the comparison between GControl, GTransport and GCace, may reflect adaptations of the respiratory system to exposure to work at high altitude, as well as, G overload, in small doses and over many years of work, and should not be disregarded.

Keywords: Pilot, Military; High Altitude; Speed Force; Pulmonary Function.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Representação esquemática da progressão da formação do piloto da FAB e a disposição dos esquadrões aéreas nos diversos estados do país	18
Figura 2-	Eixos de aceleração G considerando a postura do piloto no assento da aeronave	21
Figura 3-	Medida da capacidade vital forçada por curvas de volume-tempo e fluxo volume	25
Figura 4-	Alça fluxo-volume	25
Figura 5-	Sequência da manobra representada pelo tempo versus volume	27
Figura 6-	Representação gráfica da componente real do sistema respiratório e metodologia de obtenção dos parâmetros resistivos	29
Figura 7-	Representação gráfica da componente imaginária do sistema respiratório e metodologia de obtenção dos parâmetros reativos	29
Figura 8-	Representação em bloco básico do sistema de FOT	30
Figura 9-	Voluntário realizando ensaio espirometria e pletismografia	34
Figura 10-	Voluntário realizando ensaio da FOT	35
Figura 11-	Fluxograma dos indivíduos expostos analisados	36
Figura 12-	Resistência (12 A) e reatância (12 B) em função da frequência em voluntários do grupo controle e Horas de voo	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados antropométricos dos voluntários analisados – GControle x Pilotos (Caça e transporte)	37
Tabela 2 -	Dados antropométricos dos voluntários analisados – GControle x CCaça x GTransporte	37
Tabela 3 -	Medidas espirométricas dos grupos estudados – GControle x GPilotos (Caça e transporte).....	38
Tabela 4 -	Medidas espirométricas dos grupos estudados – GControle x GCaça x GTransporte	38
Tabela 5 -	Medidas de pletismografia dos grupos estudados – GControle x GPilotos (Caça e transporte)	39
Tabela 6 -	Medidas de Pletismografia dos grupos estudados – GControle x GCaça x GTransporte	39
Tabela 7 -	Medidas de FOT dos grupos estudados – GControle x GPilotos (Caça e transporte)	40
Tabela 8 -	Medidas de FOT dos grupos estudados – GControle x GCaça x GTransporte	40
Tabela 9 -	Dados antropométricos a partir da caracterização das horas de voo	41
Tabela 10 -	Correlação entre horas de voo e os parâmetros de função pulmonar a partir da espirometria e pletismografia	41
Tabela 11 -	Correlação entre horas de voo e os parâmetros de função pulmonar a partir da FOT	41
Tabela 12 -	Medidas de espirometria a partir da caracterização por horas de voo	42
Tabela 13 -	Medidas de pletismografia a partir da caracterização por horas de voo	42
Tabela 14 -	Medidas de FOT dos grupos estudados a partir da caracterização por horas de voo	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1°GavCa – Primeiro Grupo de Aviação de Caça

AFA – Academia da Força Aérea

AGSM – *Anti G Strain Manouver*

ATS – *American Thoracic Society*

BTS – *British Thoracic Society*

Cdin, sr – Complacência dinâmica do sistema respiratório

CEO – Curso de Especialização Operacional

CFOAv – Curso de Formação de Oficiais Aviadores

CO₂ – Dióxido de Carbono

COMAER - Comando da Aeronáutica

CPT – Capacidade Pulmonar Total

CPT (%) - Capacidade Pulmonar Total (percentual do previsto)

CVF - Capacidade Vital Forçada

DP – Desvio Padrão

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

END – Estratégia Nacional de Defesa

EPCAR - Escola Preparatória de Cadetes do Ar

FAB – Força Aérea Brasileira

FOT – *Forced Oscillation Technique* (Técnica de Oscilações Forçadas)

FEF_{25-75%} – Fluxo Expiratório Forçado entre 25% e 75% da CVF

FEF_{25-75%} (%) – Fluxo Expiratório Forçado entre 25% e 75% da CVF (percentual do previsto)

f – Frequência

fr – Frequência de ressonância

FC – Frequência Cardíaca

G – Unidade de medição da Força G

g – Aceleração gravitacional

G-LOC – *G Induced Loss of Consciousness* (Perda de consciência no voo)

Gz+ – Força G medida no eixo corporal z no sentido topo-base

Gz- – Força G medida no eixo corporal z no sentido base-topo

HAFG – Hospital de Força Aérea do Galeão

HUPE – Hospital Universitário Pedro Ernesto

Hz – Hertz

ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica

IMC – Índice de Massa Corpórea

n – tamanho da amostra

O₂ – Oxigênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

p – nível de significância

PCA – Plano do Comando da Aeronáutica

PFE – Pico de Fluxo Expiratório

PNT – Pneumotacógrafo

Q – Fluxo

Raw – Resistência das Vias Aéreas

Rm – Resistência média do sistema respiratório

Rsr – Resistência do sistema respiratório

Rcw – Resistência da parede torácica

R0 – Resistência no intercepto

Rva – Resistência de vias aéreas

S – Inclinação de curva de resistência do sistema respiratório

SBPT – Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia

SGaw – Condutância específica das vias aéreas

TCLE – Termo de consentimento livre e esclarecido

TP – Transdutor de pressão

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

USAFA – *United States Air Force Academy* (Academia da Força Aérea Americana)

VEF₁ – Volume expiratório forçado no primeiro segundo

VEF₁ (%) – Volume expiratório forçado no primeiro segundo (percentual do previsto)

VEF₁/CFV - razão entre o volume expiratório forçado no primeiro segundo e a capacidade vital forçada

VR – Volume residual

VR (%) – Volume residual (percentual do previsto)

VR/CPT – Razão entre o volume residual e capacidade pulmonar total

VR/CPT (%) – Razão entre o volume residual e capacidade pulmonar total (percentual do previsto)

Xm – Reatância média

X_{sr} – Reatância do sistema respiratório

Z_{sr} – Impedância do sistema respiratório

Z_{4Hz} – Impedância do sistema respiratório em 4 Hz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	16
3	REVISÃO TEÓRICA	17
3.1	O perfil da FAB na Defesa Nacional.....	17
3.2	O militar aviador.....	17
3.3	Efeitos relativos à exposição ao voo.....	19
3.4	Gravidade e aceleração.....	20
3.5	Alterações respiratórias.....	21
3.5.1	Altitudes elevadas	21
3.5.2	Exposição à gravidade e à aceleração(Gz).....	22
3.6	Espirometria	24
3.7	Pletismografia	26
3.8	Técnicas de Oscilações Forçadas (FOT).....	28
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1	Delineamento do estudo.....	32
4.2	Seleção de indivíduos.....	32
4.3	Coletas de dados.....	33
4.4	Instrumentação	33
4.4.1	Exame de Espirometria e Pletismografia.....	33
4.4.2	Exames de Técnica de Oscilações Forçadas.....	34
4.5	Processamento de dados e análise estatística.....	35
5	RESULTADOS.....	36
5.1	Características da amostra.....	36
5.2	Espirometria	37
5.3	Pletismografia	38
5.4	Resultados de FOT.....	39
5.5	Horas de voo e parâmetros de função pulmonar.....	40
6	DISCUSSÃO.....	45
7	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	53

8	APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	54
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICES.....	65
	Apêndice A-Parecer Comitê de Ética e Pesquisa.....	65
	Apêndice B-Ficha cadastral.....	75
	Apêndice C-Termo de Consentimento livre esclarecido.....	77

1 INTRODUÇÃO

Muitos são os registros de tentativas de alçar voos ao longo da história, seja utilizando-se asas, catapultas ou outros dispositivos. No século XVIII, o jesuíta brasileiro Bartolomeu de Gusmão, atingiu a altura de 4m com um balão de ar quente para observação aérea das queimadas terrestres. Em 17 de dezembro de 1903, após o primeiro voo autoproulsionado, outros novos desafios e obstáculos de adaptação ao meio foram impostos aos aviadores (SILVEIRA et al, 2006). Em 23 de outubro de 1906 na França, pela primeira vez em público e de forma documentada, se realizou o voo controlado em um aparelho mais pesado que o ar. No comando do consagrado 14 bis, estava o brasileiro Alberto Santos Dumont, 33 anos (BRASIL, 2017).

Ao longo da história do Brasil, as Forças Armadas tiveram participação de vários momentos de mediação no processo de evolução política e social do país (ALMEIDA, 1995). O cenário de guerras exigiu o controle de terrenos mais complexos com o fim de ter sucesso nas ações militares, devendo a FAB agir com prontidão nos diversos contextos operacionais (BRASIL, 2018b).

A visão de futuro estabelecida na concepção estratégica "Força Aérea 100" está focada no alcance de capacidades para construir uma força operacionalmente moderna, ampliando a prontidão operacional voltada para o pronto emprego, com o fim de garantir que os meios aéreos de combate estejam sempre prontos para cumprir sua missão. Tendo como um dos objetivos, o preparo operacional das suas tripulações (BRASIL, 2018).

É sabido que quando no exercício da atividade aérea, o piloto está exposto a elevadas cargas de aceleração e pode ocorrer mudanças na distribuição do fluxo sanguíneo pulmonar. As vias aéreas do terço inferior do pulmão são fechadas e, com a progressão da força de aceleração, pode ocorrer o fechamento das vias aéreas em até 50% do pulmão (WEST, 2013).

Ao contrário dos pilotos de aviões a jato, os pilotos de transporte e helicóptero estão menos expostos a vibrações extremas e a força G porque voam abaixo de 15.000 pés. Neste seguimento aéreo, o uso de oxigênio suplementar não se faz necessário, o ambiente de cabine pode ocorrer com ou sem pressurização, porém os efeitos relativos ao trabalho em altitude permanecem (GUL et al, 2012).

Com o fim de estimar esses índices, estão disponíveis comercialmente alguns instrumentos de avaliação da função pulmonar, espirometria e pletismografia de corpo inteiro, são os mais tradicionalmente utilizados. A espirometria avalia os fluxos aéreos derivados de manobras inspiratórias e expiratórias máximas forçadas (TRINDADE et al, 2015) e a

pletismografia estima os volumes pulmonares estáticos e mede capacidade residual funcional, além de outros parâmetros (MUNGOGE et al, 2016; SBPT, 2002).

Além destes, a Técnica de Oscilações Forçadas (FOT), descrita por DuBois et al, em 1956, destaca-se por ser complementar aos instrumentos tradicionais e ainda apresentar a vantagem de ser um método não invasivo e realizado na ventilação espontânea (OOSTVEEN et al, 1991).

Partindo do ponto que os pilotos seguem o protocolo de Inspeção de Saúde previsto na ICA 160-6/2016 item 3.1.2.1 (BRASIL, 2016), cuja a avaliação pulmonar é dada por exame de imagem radiológico simples de tórax em incidência pósterio-anterior, surge a inquietação de outros parâmetros de função pulmonar frente às condições citadas acima. Diante deste, é possível que a análise mais detalhada da função pulmonar dos sujeitos expostos a estas condições, possam contribuir ao melhor enfrentamento a aprimoramento da performance humana e da relação homem-máquina nas forças armadas brasileiras.

2 OBJETIVOS:

Gerais:

- ✓ Descrever as possíveis modificações de função pulmonar em pilotos de combate da Força Aérea Brasileira (FAB).

Específicos:

- ✓ Comparar as modificações de função pulmonar entre voluntários do grupo controle e pilotos de combate da FAB;

- ✓ Analisar os efeitos do período de exposição ao voo na função pulmonar de pilotos de combate;

- ✓ Analisar os efeitos do trabalho em altitudes elevadas considerando as particularidades da exposição com baixa e elevada exposição a carga G.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 O perfil da FAB na Defesa Nacional

Com ênfase no contexto militar, a Defesa Nacional caracteriza-se por um composto de medidas e ações do Estado com interesse para a defesa do território nacional contra possíveis ameaças, objetivando entre outros fatores, garantir a soberania e o patrimônio nacional além dos recursos Brasileiros no exterior (BRASIL, 2020).

A missão da Força Aérea Brasileira (FAB) vai de encontro a "manter a soberania do espaço aéreo nacional, com vistas à defesa da Pátria", tendo como base aspectos essenciais como: Operacionalidade, modernidade e integração (BRASIL, 2018). A aviação é uma atividade que envolve diferentes níveis de operação e tarefas com elevada complexidade e expostas a muitos estressores ocupacionais e que, frequentemente, se conectam (SHAPPELL et al, 2007) e o desenvolvimento aeronáutico militar brasileiro se encaixa no cenário de modernização das Forças Armadas das primeiras décadas do século XX (SALES, 2019).

De acordo com A Política Nacional de Defesa e a Estratégia Nacional de Defesa (PND/END, 2012), para o alcance da segurança do Brasil, é essencial a proteção do território e da população brasileira como o mais importante objetivo nacional. Para tal, a FAB tem papel relevante, com capacidade operacional de defesa e poder aeroespacial, sendo capaz de cumprir missões singulares ou em coletividade (BRASIL, 2018a).

3.2 O militar aviador

Até os dias atuais, a FAB busca manter a soberania do espaço aéreo, integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria através da sua missão. Para tal, a Escola Preparatória de Cadetes do Ar (EPCAR) capacita jovens para o ingresso no Curso de Formação de Aviadores (CFOAv), (BRASIL, 2020) e a formação do Oficial Aviador é continuada na Academia da Força Aérea (AFA), onde lá, o cadete, recebe diversas instruções durante quatro anos (BRASIL, 2021).

Após a formação primária, os mais novos aspirantes seguem outros cursos de aperfeiçoamento dentro da profissão, espalhados por diversos estados do país. Dentre as múltiplas modalidades aéreas da FAB estão a aviação de Caça; Asas Rotativas; Transporte; Patrulha ou Reconhecimento. (Figura 1) FAB, 2017; BRASIL, 2018).

A aviação de Caça da FAB é repleta de tradição e segue contextualizada no combate e operacional refletindo o manejo particular na contribuição de defesa a soberania do espaço aéreo (SANTOS, 2021). Iniciam sua formação no esquadrão Joker (2º/5º GAV, Parnamirim/RN), onde recebem instruções no Curso de Especialização Operacional na Aviação de Caça (CEO-CA) e é nesta etapa que aprendem a operar o A-29 Super Tucano. Posteriormente, os modelos F-5M e o recém-chegado, F-39 GRIPEN (BRASIL, 2018). Com um total de 9 esquadrões de caça com centenas de militares envolvidos na operação (BRASIL, 2018).

A aviação de transporte atualmente é equipada com a aeronave KC-390 Millennium e também com os modelos C-130 Hércules, C-105 Amazonas, C-99, C-97 Brasília, C-98 Caravan, C-95 Bandeirante, U-55 Learjet e U-100 Phenom. Tem a capacidade de realizar missões inerentes a sustentação de combate, sendo as mais comuns o Transporte de Tropa, Assalto Aeroterrestre, Transporte Aero logístico, Reabastecimento em Voo e Combate a Incêndio em Voo. Com cerca de 13 unidades aéreas espalhadas pelo país, com mais de 300 militares operacionais envolvidos nessas ações.

Figura 1- Representação esquemática da progressão da formação do piloto da FAB e a disposição dos esquadrões aéreas nos diversos estados do país.



Fonte: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/31128> Acesso em: 09 de out. 2020.

3.3 Efeitos relativos à exposição ao voo

No ambiente da aviação, diversos são os efeitos relativos à exposição ao voo. Dentre os efeitos adversos conhecidos estão o *Jetleg*, descrito como distúrbio temporário do sono, podendo ocorrer impacto direto nas ações regulatórias corporais influenciadas pelo ciclo circadiano. Efeitos relacionados a pressurização de cabine, vibração, ruído, estressores ambientais, frequentemente associados a sintomas de dor, vertigem e enjoos trabalho (GINDHART, 1999; SAUVET et al, 2009; GUL et al, 2012; GUL e SALMANOGLU, 2012).

Além das repercussões descritas acima, fatores mais complexos podem se apresentar, dentre estes o disbarismo ou doença da descompressão, sendo um mecanismo baseado na expansão do volume dos gases à proporção que ocorre a elevação da altitude durante o voo, podendo ocorrer a formação de bolhas gasosas nos tecidos associada a situações de rápida diminuição da pressão atmosférica (BORGES et al, 2022).

É descrito na literatura ainda que a redução da pressão do ar com o aumento da altitude leva à hipóxia, chamada assim de hipóxia hipobárica (ALVES et al, 2008). A redução da pressão parcial de oxigênio alveolar, reduz pressão no sangue arterial. Com uma resposta ventilatória aguda, o corpo trabalha para recuperar a homeostase da concentração de oxigênio, causando hipocapnia e alcalose respiratória (PETRASSI et al, 2012). Essa compensação causa fadiga dos músculos respiratórios (BUSTAMANTE-SANCHEZ et al, 2018; POLLARD et al, 1997), com possível comprometimento psicomotor em hipobáricos agudos, podendo afetar o controle postural da tripulação, aumentando a oscilação postural proporcional aos aumentos de altitude (NORDAHL, AASEN, OWE, & MOLVAER, 1998).

Complementarmente, a tolerância à força de aceleração, no contexto aeroespacial, é considerada um fator particular e pode apresentar efeitos fisiológicos relacionados ao sistema respiratório, à visão (comumente chamado de blackout - completa perda da visão) e ao nível de consciência (com a perda da consciência, conhecido como *Induced Loss of Consciousness*, G-LOC) (RUSSOMANO & CASTRO, 2012, p 147). Aliados a estes, fatores fisiológicos e psicológicos individuais podem ser determinantes para o enfrentamento do combate aéreo. As tropas de aviadores devem ser capazes de lidar com essas condições, seja em situações de rotina ou de alta carga de trabalho (GINDHART, 1999; SAUVET et al, 2009; GUL et al, 2012; GUL & SALMANOGLU, 2012).

No sujeito aclimatado pode haver menores efeitos deletérios ao corpo, o que torna possível o desenvolvimento do trabalho diário mesmo em altitudes muito elevadas (4400 a 5500 m), com eficiência próxima ao do sujeito com trabalho ao nível do mar. Contudo, a

possibilidade de desenvolvimento de doenças ou adaptações deletérias em consequência a exposição contínua não pode ser excluída (GUYTON & HALL, 2002, p. 465).

3.4 Gravidade e Aceleração

A Força da Gravidade e Aceleração (Força G), descrita pela Lei da Gravitação Universal, foi postulada pelo físico e matemático inglês Isaac Newton (1642-1727) (CAMPOS et al, 2002). Pode ser definida como ponto de um corpo no qual temos o equilíbrio, cuja força resultante age sobre ele, ponto da estrutura do avião onde agem todas as forças combinadas.

A gravidade e a sensação de peso são sentidas na direção do centro da Terra e seus efeitos fisiológicos são orientados no mesmo sentido. Em contraste, há uma força de reação no sentido oposto da velocidade de deslocamento. Esse sentido da força reativa é o considerado em termos fisiológicos, como o efeito resultante de força sobre os órgãos internos e a dinâmica de fluidos corporais (HINGHOHER-SZALKAY, 2011).

A tensão gravitacional na terra é uma força reativa e mecânica do solo exercida sobre um corpo é devido à gravitação (PARKHURST et al, 1972). O termo G é visto como uma medida da força gravitacional também considerado como estresse exercido em um corpo durante as mudanças de velocidade (SCOTT et al, 2007).

Quando a força G é originária na força acelerativa, ocorre direcionamento anatômico dos eixos, como demonstrado na figura 2. Sendo representado como: eixo X (frontal para posterior), Y (direita para esquerda) e Z (cranial - podal). A Força G é considerada positiva ou negativa, dependendo do sentido da força. Nesse sentido, a gravidade na superfície da terra é de +1Gz durante a posição sentada ou em pé, enquanto na posição supina, a aceleração é de +1Gx (SCOTT et al, 2007).

A Força G negativa e a Força G positiva são duas importantes variáveis para os aeronavegantes. Tais acelerações são produzidas por uma mudança na direção do movimento de uma aeronave e sua duração (MILLS, 1983, página 8). Ozturk et al (2012), descrevem estas forças, considerando a posição ortostática, da seguinte forma:

- Força G Negativa: causa acúmulo de sangue na parte superior do corpo. Na situação de -4G, há elevação da pressão hidrostática do cérebro para cerca de 300 a 400 mmHg, com ruptura de pequenos vasos da cabeça, hiperemia intensa nos olhos, até perda da visão temporária. Em alguns casos são descritos distúrbios psicóticos por causa do edema cerebral.

• Força G Positiva: causa acúmulo de sangue na parte inferior do corpo. Na situação de +5G, na posição em pé eleva a pressão hidrostática nos pés com valor de 450 mmHg. Com uma aceleração acima de 4G ocorre o obscurecimento da visão.

Com o aumento e importância das missões de voo para operações militares, muitas aeronaves de mais alto desempenho foram introduzidas na força militar e os aviadores dessas aeronaves são frequentemente expostos a alta força gravitacional (força G) resultante de movimentos ou curvas rápidas (BURTAN, 1988).

Figura 2 - Eixos de aceleração G considerando a postura do piloto no assento da aeronave.

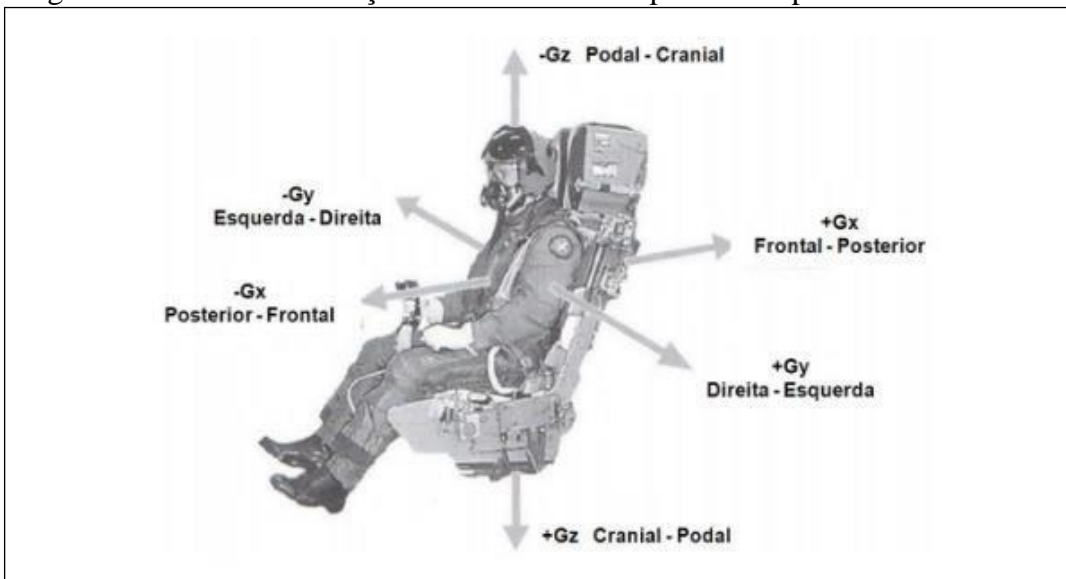


Figura adaptada de Rainford e Gradwell (2006. p.141)

3.5 Alterações respiratórias

3.5.1 Altitudes elevadas

O organismo humano, quando exposto a elevadas altitudes, desencadeia uma série de respostas adaptativas em diferentes sistemas do corpo, seja causada pela diminuição de oferta de O_2 ou pelos demais efeitos deletérios inerentes ao trabalho em altitudes elevadas (ORTEGA et al, 2006).

No caso das disfunções do sistema respiratório podem se apresentar desde simples alterações de padrões biomecânicos da respiração, possivelmente resultando em sintomas intermitentes ou crônicos, respiratórios ou não respiratórios até o desenvolvimento doenças agudas ou crônicas (BAKER & EVERARD, 2015). Padrões respiratórios irregulares podem

ocorrer ainda que na ausência de doenças concomitantes ou secundariamente a estas (VIDOTTO et al, 2019), podendo refletir sinais iniciais de disfunção deste sistema (BAKER & EVERARD, 2015).

É descrito na literatura que ao se atingir 6.706 m (15.000 pés), o organismo encontra-se no limite da compensação-fisiológica à hipóxia, utilizando o aumento da ventilação pulmonar para manter a oxigenação tissular. A partir desse nível, o organismo não consegue mais manter sua homeostase e começa a apresentar os primeiros sinais objetivos de falência. A pressão parcial de O₂ atinge menos de 30mmHg nos tecidos e deve estar em torno de 0,5 a 3 mmHg nas mitocôndrias. Nessa situação, há um bloqueio da fosforilação oxidativa e do ciclo de Krebs (SOUZA et al, 2012).

Na presença de elevada altitude, baixa pressão atmosférica, aceleração, manobras de voo em várias durações e intensidades, as frequências respiratórias e cardíacas estão suscetíveis a aumentos nas mudanças na pressão atmosférica e na força G. As forças de aceleração, + Gz é o fator mais influente dessas possíveis modificações durante o voo (OZTURK et al, 2012).

3.5.2 Exposição à gravidade e à aceleração (Gz)

A distribuição do fluxo sanguíneo através do pulmão é bastante afetada pela aceleração (+Gz). O aumento progressivo da pressão pulmonar arterial para baixo do pulmão, e da pressão venosa pulmonar abaixo da junção dos terços médio e inferior, resulta em um aumento correspondente ao fluxo sanguíneo regional. Com a elevação da aceleração, pode ocorrer o aumento do fluxo sanguíneo na região inferior do pulmão. No entanto, o fluxo de sangue diminui na parte mais dependente do pulmão, porque o aumento da pressão intersticial é transmitido para o gás alveolar quando atinge o estreito terminal das vias aéreas, aumentando assim a resistência local para o fluxo sanguíneo (RAINFORD, 2006, p. 151-152).

Em sua revisão, Prisk (2011) considera que a circulação pulmonar está sujeita ao desafio direto, tanto da pressão alterada quanto da gravidade alterada. Para uma eficiente troca gasosa, os capilares pulmonares devem ser extremamente finos e expostos diretamente ao espaço alveolar. Assim, alterações na pressão ambiente são transmitidas diretamente aos capilares com potencial para alterar o fluxo sanguíneo pulmonar, sendo assim, esses capilares que estão presentes nas paredes alveolares, podem sofrer alterações na força gravitacional e afetar diretamente o fluxo sanguíneo pulmonar, tanto por deformação pulmonar quanto por alterações na distribuição da pressão hidrostática no pulmão.

Quando o piloto está exposto a aceleração de até 5 Gz, há distorção e mudanças na distribuição do fluxo sanguíneo pulmonar. Há evidências de que, em 3 Gz, a maioria das vias aéreas para o terço inferior do pulmão são fechadas e, por extrapolação, isso prevê que a 5 Gz, o fechamento da via aérea poderá ocorrer em 50% do pulmão (WEST, 2013).

Na aviação militar de alta performance, pode ocorrer a suplementação de oxigênio entre 70 a 100 % com o objetivo de solucionar os efeitos da hipóxia, esse feito frequentemente ocorre a partir de 15 mil pés de altitude ou 4.572 m (SPONHOZ, 2010). Além desta intempérie, ainda que os aviadores possuam capacidades de tolerar forças G iguais ou superiores aos das atuais aeronaves, as medidas de assistência mecânicas e fisiológicas são utilizadas para minimizar o efeito deletério e manter o retorno venoso adequado. Sendo os trajes anti-g, a pressão positiva de respiração e as manobras anti-G de esforço, como a AGSM Anti G Strain Manouver (AGSM) – também chamado de L-1 e M-1, vistos como fundamentais meios para tolerar a aceleração (OZTURK et al, 2012).

Steinman et al (2017), realizaram um estudo com 12 pilotos para examinar a influência da hipóxia hipobárica no desempenho de voo, durante a exposição a altitudes simuladas através da câmara hipobárica do *Center for Man in Aviation*, em Soesterberg. Avaliaram a saturação periférica de oxigênio (SpO₂%) e ventilação minuto através Oxycon Mobile (CareFusion 234 GmbH, Hoechberg, Alemanha) e concluíram que houve diminuição de SpO₂% e ventilação minuto conforme o incremento da altitude.

Beer et al (2017), com o objetivo de medir a capacidade pulmonar sob os efeitos das respirações em alta concentrações de oxigênio e de confinamento prolongados, realizaram duas medições espirométricas pré e pós voo de avião de caça (Lockheed U-2) de 10 pilotos da Força Aérea Americana. Como resultado obtiveram a diminuição significativa para todas as quatro medidas pulmonares (VEF₁, CVF, PFE, VEF₁/CVF – 2,7%, 6,4%, 13,9% e 3,5%, respectivamente). Esses dados foram aferidos logo após o período de 12h sentado no *cockpit*, imediatamente após o término do voo.

Guyton e Hall (2002) p. 467, afirmam que por causa das rápidas alterações da velocidade e da direção do movimento nos aviões e espaçonaves, vários tipos de forças de aceleração, frequentemente, afetam o corpo durante o voo. No início do voo, ocorre simples aceleração linear; ao final do voo a desaceleração; e cada vez que o veículo forma uma curva, a aceleração centrífuga.

Mesmo diante dessas prerrogativas, há relatos na literatura de incidentes aéreos em pilotos de combate em aviões de alta performance caracterizados por curtos períodos de

confusão e comprometimento cognitivo (HENNIGAN, 2012). As forças de aceleração, + Gz é o fator mais influente dessas possíveis modificações durante o voo (OZTURK et al, 2012).

3.6 Espirometria

A espirometria é um teste que auxilia acompanhamento longitudinal, permite o diagnóstico e a quantificação dos distúrbios ventilatórios. Possibilita medir o volume de ar inspirado e expirado e os fluxos respiratórios, sendo particularmente útil na análise dos dados derivados da manobra expiratória forçada (PEREIRA, 2002). De acordo com Costa e Jamami (2001), é um teste dependente da cooperação e entendimento do avaliado e habilidade técnica do aplicador para a confiabilidade do exame.

A mensuração dos volumes pulmonares demonstra informações relevantes que podem ser essenciais para as características da fisiopatologia proveniente de anormalidades referentes ao sistema respiratório (BARRETO, 2002).

Trindade et al, 2015, afirmam que a espirometria pode ser considerada um instrumento principal de medição da função respiratória e deve ser usada ainda por muitas décadas. Consideram ainda ser um exame de fácil aplicação e muita reprodutibilidade com participação importante em especial nos diagnósticos respiratórios e avaliação funcional, cujos os parâmetros espirométricos mais utilizados na prática clínica são:

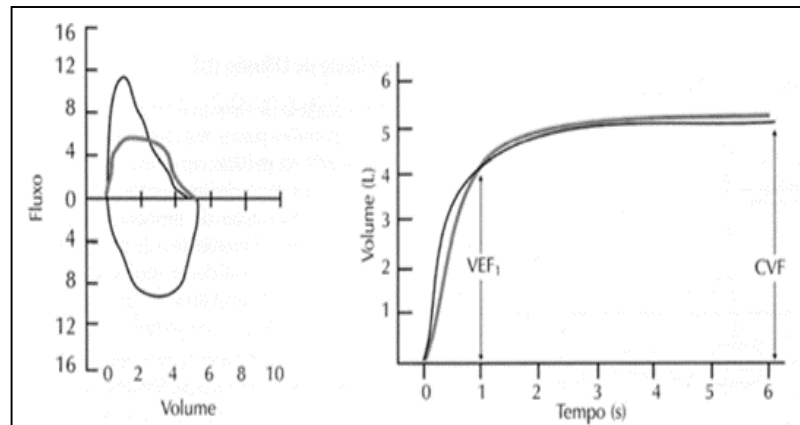
- CV - Capacidade Vital
- VEF₁ - Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo
- VEF₁/CVF - Relação Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada
- FEF_{25-75%} - Fluxo Expiratório Forçado entre 25 e 75 % da curva de CVF
- FEF/CVF – Relação do Fluxo Expiratório Forçado entre 25 e 75 % da curva de CVF e a CVF
- PFE - Pico de Fluxo Expiratório

O Volume Residual (VR) não pode ser medido pela espirometria, sendo necessário outras técnicas para tal, como por exemplo a técnica de diluição de gases, pletismografia ou de avaliação radiográfica (BARRETO, 2002).

O VEF₁ como a quantidade de ar eliminada no primeiro segundo da manobra expiratória forçada é uma medida muito útil de função pulmonar (PEREIRA, 2002). Quando uma manobra forçada de espirometria inicia e ocorre inspiração máxima possível e em seguida

uma expiração de maneira forçada e prolongada, essa quantidade de ar que será exalada é denominada CVF que pode ser registrada por curvas de volume contra tempo ou de fluxo contra volume como demonstrado na figura 3.

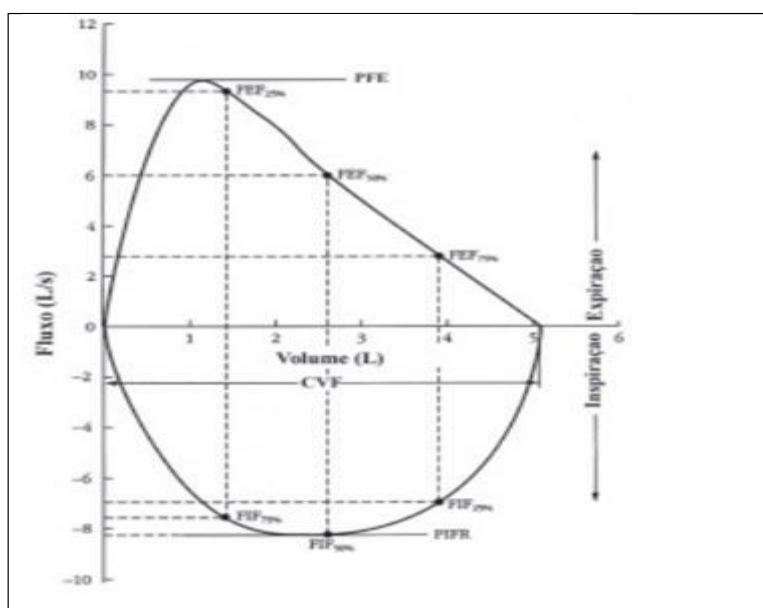
Figura 3 – medida da capacidade vital forçada por curvas de volume-tempo e fluxo volume



Fonte: PEREIRA, 2004

Quando as curvas inspiratória e expiratória registradas são feitas ao mesmo tempo, pode ser percebido a figura alça-volume (figura 4). Nesse caso, a curva é gerada durante a manobra de CVF obtida através da manobra realizada pelo indivíduo inspirando até a CPT e em seguida expirando rapidamente (PEREIRA, 2002).

Figura 4 – Alça fluxo-volume



Fonte: PEREIRA, 2002

Rodrigues et al (2002) comparam automaticamente os valores dos parâmetros obtidos com os previstos, em função de variáveis como sexo, altura, idade e raça. As normas para execução dos exames obedecem às normas da *American Thoracic Society* (ATS, 2002). Contudo, é uma manobra feita durante a respiração forçada e pode apresentar o inconveniente de alterar o tônus brônquico (COSTA e JAMIMI, 2001).

3.7 Pletismografia

Ainda em avaliação respiratória, podemos também, acrescentar outra importante ferramenta que é a Pletismografia. E de acordo com Dubois et al 1956, o pletismógrafo de corpo inteiro é um aparelho com grande sensibilidade para avaliar variações no volume do tórax.

A pletismografia é considerada um método de padrão ouro para a determinação dos volumes pulmonares devido à precisão, rapidez, reprodutibilidade, capacidade de avaliar todo volume pulmonar (inclusive ar retido), possibilidade de determinação associada da resistência e condutância das vias aéreas virtualmente na mesma manobra. O volume pulmonar não é medido diretamente. A diferença de volume será medida e refletida pelas mudanças na pressão interna do pletismógrafo. Contudo, apresenta o inconveniente de ser inviável em pacientes claustrofóbicos (BARRETO e CAVALAZZI, 2002).

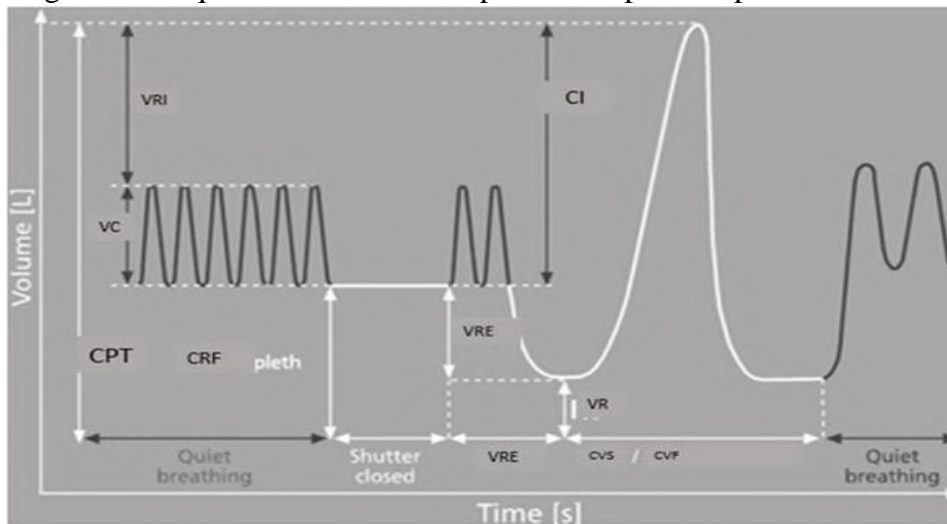
O instrumento de pletismografia pode fornecer muitos parâmetros, entre eles: Volume residual (Volume que continua no pulmão após uma expiração máxima), a capacidade Pulmonar Total (Volume de ar nos pulmões após uma inspiração forçada), relação do volume residual com a capacidade pulmonar total (BARRETO, 2002). Além de Raw (resistência das vias aéreas), Gaw (condutância das vias aéreas) (BESSA & LOPES, 2018).

A pletismografia determina o volume de gás torácico bem como a resistência das vias aéreas. Existem três principais medidas de resistência do sistema respiratório; 1 - resistência pulmonar; 2 - resistência das vias aéreas (Rva) e 3 - resistência respiratória total (R Total). Resistência pulmonar refere-se à resistência coletiva dos tecidos pulmonares e vias aéreas. A Rva refere-se à resistência ao fluxo nas vias aéreas entre a boca e os alvéolos. Resistência total, como determinado com as técnicas de oscilações forçadas e de interrupção, é a soma da Rva, parede torácica e tecido pulmonar (PEREIRA, 2000).

O equipamento utilizado para as aferições é uma câmara fechada chamada de pletismógrafo de corpo inteiro. Wanger et al (2005), relatam sobre e a técnica que consiste em algumas etapas, tais como: demonstração prévia do aplicador, o voluntário deve sentar

confortavelmente na cabine e ser capaz de alcançar o bocal sem flexionar o pescoço, utilização de um clipe nasal, colocar ambas as mãos contra as bochechas. O voluntário é orientado a conectar-se ao bocal e respirar calmamente até que chegue um nível expiratório estável (cerca de 3 -10 volumes correntes), em seguida, próximo ou na sua CRF, o obturador é fechado na expiração final por 2 a 3 segundos, e o voluntário fará uma série de respirações com mais vigor, permitindo que o ar no tórax seja comprimido e descomprimido. E por último, uma manobra de expiração forçada para o registro do volume de reserva expiratório (VRE), seguida por uma manobra de capacidade vital lenta (CVL), como demonstrado na figura 5.

Figura 5 – Sequência da manobra representada pelo tempo versus volume



Legenda: VRI (volume de reserva inspiratória), VC (volume corrente), CRF (capacidade residual funcional), CPT (capacidade pulmonar total), CI (capacidade inspiratória), VRE (volume de reserva expiratória), CVF (capacidade vital forçada), CVS (capacidade vital sustentada).

Fonte: Bessa, 2018

3.8 Técnicas de Oscilações Forçadas

A FOT foi inicialmente descrita por DuBois et al (1956) e trata-se de uma técnica utilizada para medir as propriedades mecânicas do sistema respiratório através de manobras executadas durante a ventilação espontânea (VAN DER PUTTEN et al, 1993; KING et al, 2020). Apresenta consideráveis outras possibilidades na avaliação da função pulmonar tanto em indivíduos saudáveis quanto em doentes, além de modificações ao longo do processo de envelhecimento (OOSTVEEN et al, 1991; RIBEIRO et al, 2018; SÁ et al, 2010; TUZA et al, 2020).

Descrita como potencialmente útil para uso clínico, complementando exames tradicionais de função pulmonar por sua habilidade em fornecer informações detalhadas e mudanças sutis sobre a mecânica respiratória (FARIA, 2018; LÅNDSÉR, 1982; MACLEOD e BIRCH, 2001;).

A FOT é considerada como uma ferramenta para medir a função pulmonar usando ondas sobrepostas à respiração para determinar a impedância respiratória (BOTIZKO et al, 2019). Utiliza oscilações de pressão nas versões multi e monofrequências (LORINO et al, 1997; MELO et al, 2000).

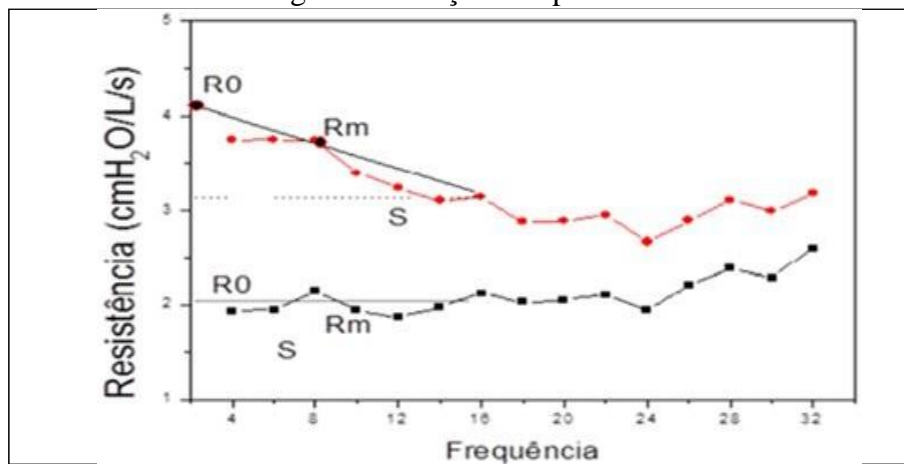
A impedância do sistema respiratório descreve os efeitos das propriedades resistivas, elásticas e inertivas do sistema respiratório. É possível descrever o efeito das propriedades resistivas através da curva de R_{sr} , também chamada de componente real ou em fase do sistema respiratório. A R_{rs} indica a resistência do sistema respiratório (Figura 6) (SHIRAI & KUROSAWA, 2016).

A reatância do sistema respiratório (X_{sr}) é chamada componente imaginário ou fora de fase (Figura 7) (SÁ et al, 2010; FARIA et al, 2018). A X_{sr} apresenta capacidade de descrever características combinadas de elastância, força necessária para alterar o volume, e a inércia, força necessária para acelerar o fluxo, do sistema respiratório (PRIDE, 1992).

O instrumento avalia as propriedades do sistema respiratório a partir da resposta a pequenas oscilações de pressão (P) aplicadas à entrada das vias aéreas do indivíduo por meio de um dispositivo externo. A pressão aplicada é medida pelo transdutor (TP), induz um fluxo oscilatório (V') na qual a amplitude é inversamente proporcional à impedância mecânica do sistema respiratório (Figura 8). Para De Melo, et al, 2020, a FOT tem a finalidade de oferecer uma abordagem simples e detalhada para investigar as propriedades mecânicas do sistema respiratório.

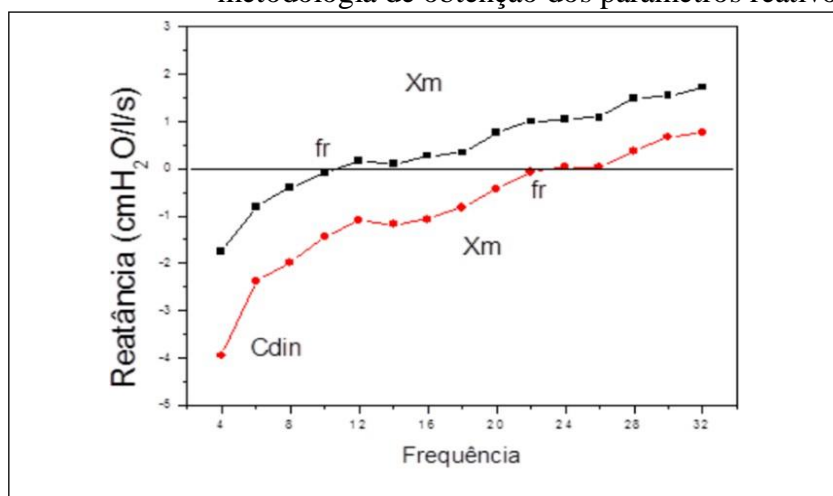
Para Bates et al (2011), a FOT pode ser considerada uma moderna tecnologia de transdutores, eletrônicos e computadores digitais que tornaram possível coletar dados de impedância em várias frequências simultaneamente, encurtando o tempo de coleta de dados e reduzindo o risco de alterações temporais nas propriedades mecânicas durante a medição, considerando a aplicação de uma excitação (ou fluxo) de pressão externa na respiração espontânea e medição da resposta de fluxo (ou pressão) resultante do sistema respiratório.

Figura 6 – Representação gráfica da componente real do sistema respiratório e metodologia de obtenção dos parâmetros resistivos



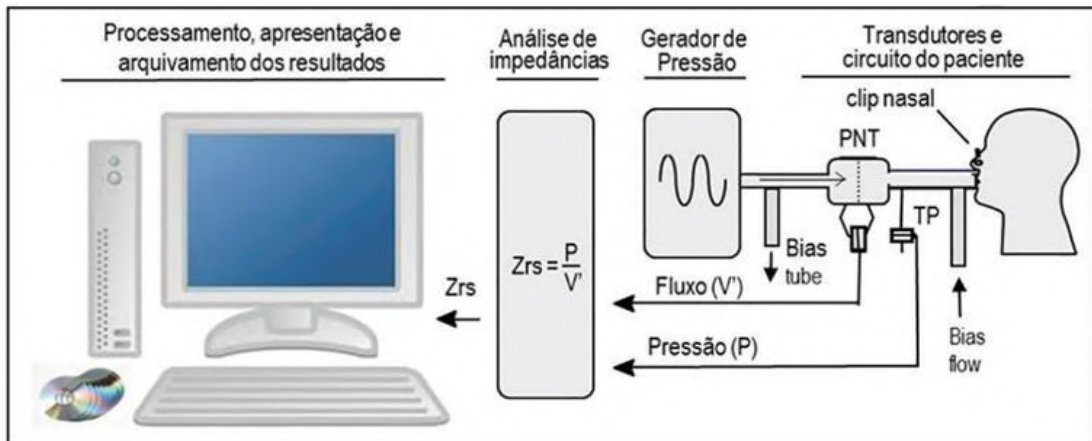
Legenda: Exemplos de resultados em um indivíduo normal (■) e um portador de DPOC (●). R_0 representa a resistência no intercepto, R_m a resistência média e S coeficiente angular da curva de resistência.

Figura 7 - Representação gráfica da componente imaginária do sistema respiratório e metodologia de obtenção dos parâmetros reativos



Legenda: Exemplos de resultados em um indivíduo normal (■) e um portador de DPOC (●). $C_{din,sr}$ representa a complacência dinâmica do sistema respiratório, f_r a frequência de ressonância e X_m a reatância média.

Figura 8 – Representação em bloco básico do sistema



Legenda. PNT – pneumotacômetro; TP – transdutor de pressão.
 Fonte: MELO, 2015

Os sinais resultantes são processados em um sistema analisador de impedância. Após isso, o módulo da impedância respiratória (Z_{rs}) é calculado utilizando a Transformada de Fourier (FFT), através da seguinte equação:

$$Z_{rs}(f) = \frac{FFT(P)}{FFT(V')}$$

Destes sinais, a Z_{rs} representa a carga mecânica total oferecida pelo sistema respiratório incluindo os efeitos relacionados às propriedades resistivas, elásticas e inertivas do sistema respiratório.

Para aceitação da medida, um índice de validade chamado função de coerência é empregado. Essa correlação sendo perfeita, resulta em uma função de coerência de valor unitário, indicando resultados livres da influência de ruídos de origem fisiológica ou ligados à instrumentação. Valores de 0,90 e 0,95 são empregados como limite mínimo de aceitação na qualidade da medida (MELO et al, 2000).

Por meio da regressão linear da curva de resistência (Figura 3A), podem ser obtidos os parâmetros empregados na interpretação dos resultados. Cujo o primeiro refere-se ao parâmetro resistência total (R_0), ou resistência no intercepto, sendo relacionada com a resistência de tecido pulmonar, vias aéreas e parede torácica (PESLIN, 1981; FARIA et al, 2018). A resistência média (R_m) que é calculada através da média dos valores de resistência na faixa de frequência de 4 a 16 Hz que, de acordo com a literatura, está relacionada à resistência das vias aéreas centrais. O parâmetro denominado coeficiente angular da curva de

resistência (S), este ligado à não-homogeneidade do sistema respiratório (MACLEOD & BIRCH, 2001; PESLIN, 1981).

A partir da curva de reatância é possível observar o comportamento das propriedades reativas e inertivas do sistema respiratório (Figura 7). A reatância assume valores mais negativos em baixas frequências devido ao predomínio da complacência do sistema, com comportamento crescente até um valor nulo, conhecido como frequência de ressonância (f_r). Quando a curva passa pelo eixo das frequências e as propriedades elásticas e inertivas se anulam. Após esse ponto, ela passa a ser dominada pelas propriedades inertivas (MELO, 2000).

A reatância média (X_m) é possível de ser calculada através da média dos valores de reatância na faixa de frequência 4 a 32 Hz, usualmente também está relacionada à não homogeneidade do sistema respiratório (CAVALCANTI et al, 2016). Outro parâmetro, calculado com base na mesma curva de X_{sr} , é a complacência dinâmica do sistema respiratório ($C_{din,sr}$) através da reatância em 4 Hz, de acordo com a fórmula descrita abaixo, proposta por Nagels et al (1980):

$$C_{din,sr} = \frac{-1}{2\pi f X_{sr}}$$

O sistema respiratório saudável demonstra uma R_{sr} em grande parte independente da frequência, onde o componente principal é a R_{aw} e a X_{sr} passa pela transição de valores negativos (quando a reatância elástica domina) a valores positivos aumentando com f (o domínio da reatância inercial). Na característica frequência de ressonância (f_r), onde X_{sr} cruza zero, as forças inerciais são iguais em magnitude e opostas (OOSTVEEN et al, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento do estudo

Trata-se de um estudo transversal. O protocolo obedece às orientações da Declaração de Helsink e Resolução nº 466/2012, tendo sido submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa do Hospital de Força Aérea do Galeão (HFAG) em 08 de março de 2018 (CAAE 76680416.7.3002.5250 - CEP/HFAG) e Hospital Pedro Ernesto/UERJ em 30 de Outubro de 2017 (CAAE 76680416.7.0000.5259) (APÊNDICE A).

O protocolo foi realizado mediante aplicação de uma ficha cadastral (APÊNDICE B) e testes de Função Pulmonar, realizados no Laboratório de Instrumentação Biomédica (LIB) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) por técnico devidamente treinado. A sequência de realização dos testes de função pulmonar seguiu-se de: Técnica de Oscilações Forçadas (FOT) na versão multifrequência, Espirometria e Pletismografia de corpo inteiro. Todos os voluntários assinaram termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE C).

4.2 Seleção de indivíduos

A amostra foi selecionada por conveniência. Para o grupo de sujeitos expostos foram incluídos voluntários pilotos de combate do Primeiro Grupo de Aviação de Caça (1ºGavCa), e pilotos de transporte de Esquadrões da Base Aérea de Santa Cruz e Base Aérea do Galeão, aptos para o voo segundo os critérios propostos pela ICA 160-6/2016 (BRASIL, 2016) e identificados para esta pesquisa como GCaça e GTransporte, respectivamente. Para o grupo controle, os sujeitos selecionados foram: não-aeronavegantes, militares ou não, não sedentários e semelhantes ao grupo caso em idade, peso e altura.

Para todos os grupos, foram submetidos os seguintes critérios de exclusão: Infecções respiratórias nos últimos 30 dias, doenças torácicas e tabagismo.

4.3 Coletas de dados

As coletas foram realizadas no período de Janeiro de 2018 à dezembro de 2019. As etapas foram aplicadas para ambos os grupos se apresentaram na sequência abaixo:

Etapa 1: Contato prévio realizado por telefone para informações sobre os testes de função pulmonar, bem como, agendamento da data e local a serem realizados.

Etapa 2: Nas datas e horário marcados, os exames seguiram na obtenção de anamnese inicial e antropometria, juntamente com a ficha cadastral do projeto de pesquisa aspectos de saúde e desempenho operacional de pilotos de combate (Apêndice 1) e termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE C).

Etapa 3: Realização dos testes de função pulmonar: FOT, espirometria e pletismografia de corpo inteiro, nesta ordem.

4.4 Instrumentação

4.4.1 Exame de Espirometria e Pletismografia

As medidas de fluxos e volumes pulmonares foram feitas no pletismógrafo de corpo inteiro BPd (nSpire Health, Inc., 1830 Lefthand Circle, Longmont, CO 80501). Os exames seguiram as orientações das Diretrizes para os Testes de Função Pulmonar (SBPT, 2002).

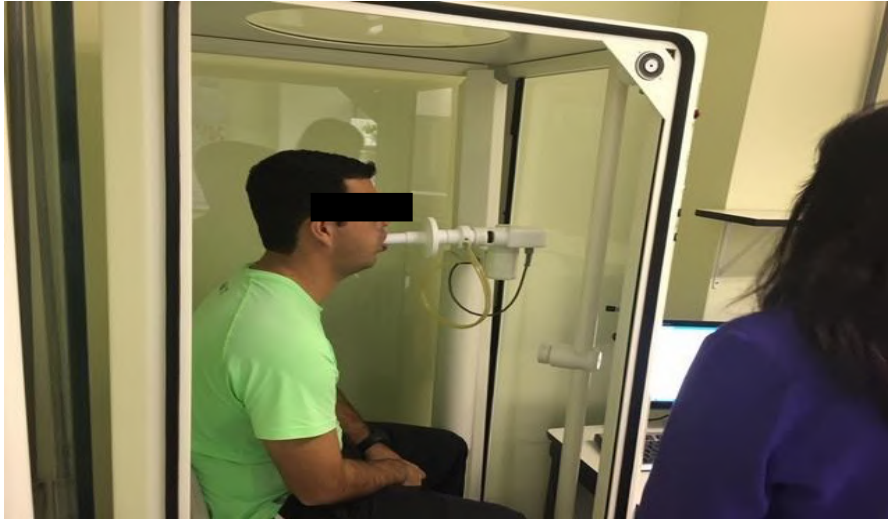
As medidas fluxos e volumes foram dadas através dos seguintes parâmetros:

- VEF₁
- CVF
- FEF_{25-75%}
- VEF₁/CVF
- VR
- CPT
- VR/CPT
- Raw
- SGaw

O procedimento foi previamente demonstrado ao paciente, ressaltando a importância de relaxar e respirar “normalmente” entre as medidas (figura 9). Os valores de referência foram baseados nas equações descritas por Neder et al (1999). Os parâmetros foram

demonstrados em valores absolutos e em porcentagem dos valores previstos (% do previsto), e os valores de referência foram obtidos a partir das equações de Pereira et al (2002). O controle de qualidade da espirometria foi fornecido pelos critérios da ATS, com o software detectando manobras não-aceitáveis.

Figura 9 - Voluntário realizando ensaio espirometria e pletismografia



Fonte: O autor

4.4.2 Exames de Técnica de Oscilações Forçadas

As análises de FOT foram feitas no protótipo do aparelho de FOT multifrequência desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Biomédica. Foram oferecidas oscilações em sinal de pressão em frequência entre 4 e 32Hz com amplitude próxima a 1 cmH₂O obtidas por alto-falante que foi acoplado ao sistema respiratório. Permitindo a avaliação da impedância respiratória dentro da faixa de frequência estudada (MELO et al, 2000).

Através da regressão linear da curva de resistência, são obtidos os parâmetros empregados na interpretação dos resultados relacionados a impedância (FARIA et al, 2018).

São eles:

- Rsr;
- R0;
- Rm;
- S;
- Xsr;

- X_m ;
- f_r ;
- C_{din} , sr;
- Z_{4Hz} ;

No momento do exame de FOT, o voluntário permaneceu sentado, acoplado por um bocal de silicone, utilizando um clipe nasal e sustentando com firmeza as bochechas e assoalho da boca com as próprias mãos (Figura 10). Foram realizados três ensaios consecutivos, cada com dezesseis segundos de duração. O resultado final do exame foi obtido através do cálculo da média de três ensaios com resultados considerados satisfatórios. A função de coerência mínima utilizada para aceitação dos resultados foi de 0,9 (MELO et al, 2000).

Figura 10 - Voluntário realizando ensaio da FOT



Fonte: O autor

4.5 Processamento de Dados e Análise Estatística

Para esse trabalho foi utilizado um pacote de software comercial (Origin® 8.0. Microcal Software Inc., Northampton, Massachusetts, United States) para comparar as diferenças entre os grupos. Os resultados são apresentados em média \pm desvio padrão. Para análise de distribuição da amostra, foi aplicado o teste Shapiro-Wilk. Para comparação entre

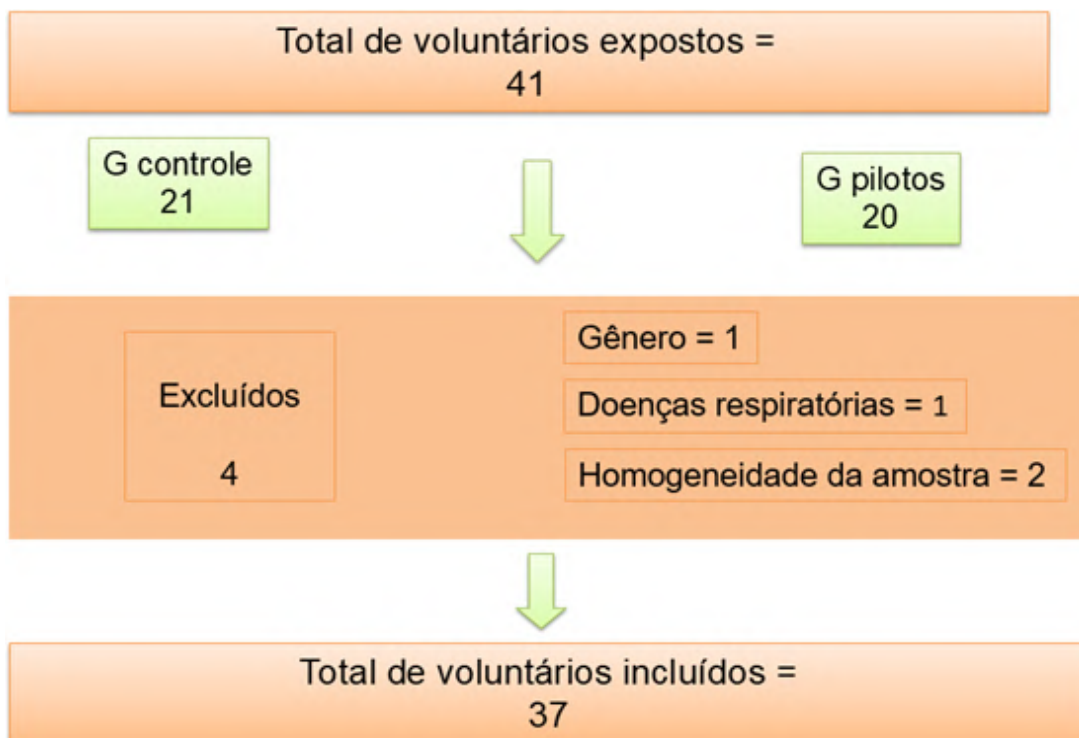
2 grupos, foi utilizado Teste t independente para a distribuição com característica normal ou paramétrica. E Mann Whitney para a distribuição com característica não-normal ou não paramétrica.

5 RESULTADOS

5.1 Características da amostra

O estudo se deu com um total de 41 voluntários. Após as análises, um indivíduo foi excluído por apresentar asma e três indivíduos foram excluídos a fim de manter a homogeneidade da amostra quanto aos critérios de idade, peso, altura. Sendo um total de voluntários da amostra de 37 voluntários na amostra (Figura 11).

Figura 11 - Fluxograma dos indivíduos expostos analisados



Fonte: O autor

No intuito de melhorar a compreensão dos achados, apresentamos os resultados a partir da comparação entre GControle e GPilotos, além de GControle, GTransporte e GCaça.

A análise a partir dos parâmetros biométricos mostrou distribuição homogênea (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Dados antropométricos dos voluntários analisados – GControle x GPilotos (Transporte e Caça)

Parâmetros	GControle (0) 18	GPilotos (1) 19	p
Idade (anos)	33,27 ± 5,63	31,05 ± 2,12	ns
Peso (kg)	80,22 ± 8,62	82,61 ± 7,53	ns
Altura (cm)	175,16 ± 5,28	177,54 ± 6,19	ns
IMC (kg/m ²)	26,06 ± 2,13	26,20 ± 2,05	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão. P < 0,05 foi considerado significativo. ns = não significativo.

Tabela 2 - Dados antropométricos dos voluntários analisados – GControle x GTransporte X GCaça

Parâmetros	GControle (0) 18	GTransporte (1) 6	GCaça (2) 13	p
Idade (anos)	33,27 ± 5,63	30,16 ± 2,31	31,46 ± 1,98	ns
Peso (kg)	80,22 ± 8,62	82,61 ± 6,19	82,6 ± 8,32	ns
Altura (cm)	175,16 ± 5,28	178,16 ± 7,67	177,25 ± 5,71	ns
IMC (kg/m ²)	26,06 ± 2,13	26,60 ± 1,95	26,01 ± 2,14	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão. P < 0,05 foi considerado significativo. ns = não significativo.

5.2 Espirometria

Após analisar a função pulmonar através dos dados espirométricos dos grupos pesquisados, foi observado, na comparação entre os dois grupos, um ligeiro incremento dos valores médios no GPilotos em relação ao GControle, com modificação significativa para o parâmetro VEF₁ (L) (Tabela 3). Na comparação entre três grupos, embora sem significância estatística, foi possível observar, aumento nos valores médios dos parâmetros VEF₁/CVF%, FEF_{25-75%}/CVF L e FEF_{25-75%}/CVF % do GTransporte (Tabela 4).

Tabela 3 - Medidas espirométricas dos grupos estudados – GC x GPilotos

Parâmetros	GControle (0) 18	GPilotos (1) 19	p
CVF L	4,97 ± 0,22	5,35 ± 0,56	ns
CVF %	98,39 ± 7,24	100,61 ± 7,77	ns
VEF ₁ L	3,97 ± 0,49	4,33 ± 0,51	≤ 0,03
VEF ₁ %	95,59 ± 10,70	98,18 ± 8,90	ns
VEF ₁ /CVF L	80,8 ± 5,87	81,12 ± 7,05	ns
VEF ₁ /CVF%	96,95 ± 7,37	97,51 ± 8,58	ns
FEF ₂₅₋₇₅ % L	4,02 ± 1,20	4,29 ± 1,11	ns
FEF ₂₅₋₇₅ %	86,84 ± 23,99	88,84 ± 21,73	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF L	0,82 ± 0,24	0,8 ± 0,21	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF %	88,27 ± 23,58	89,13 ± 24,91	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, Teste t independente para a distribuição com característica paramétrica e Mann Whitney característica não paramétrica. p < 0,05. Ns = não significativo.

Tabela 4 - Medidas espirométricas dos grupos estudados – GControle x GTransporte x GCaça

Parâmetros	GControle (0) 18	GTransporte (1) 6	GCaça (2) 13	p
CVF L	4,97 ± 0,22	5,11 ± 0,34	5,47 ± 0,61	ns
CVF %	98,39 ± 7,24	96,46 ± 7,35	102,52 ± 7,44	ns
VEF ₁ L	3,97 ± 0,49	4,36 ± 0,47	4,32 ± 0,55	ns
VEF ₁ %	95,59 ± 10,70	98,76 ± 8,10	97,91 ± 9,55	ns
VEF ₁ /CVF L	80,8 ± 5,87	85,48 ± 8,72	79,11 ± 5,39	ns
VEF ₁ /CVF%	96,95 ± 7,37	102,46 ± 10,70	95,23 ± 6,70	ns
FEF ₂₅₋₇₅ % L	4,02 ± 1,20	4,69 ± 25,47	4,1 ± 0,97	ns
FEF ₂₅₋₇₅ %	86,84 ± 23,99	95,07 ± 25,47	85,96 ± 20,25	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF L	0,82 ± 0,24	0,92 ± 0,27	0,75 ± 0,17	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF %	88,27 ± 23,58	99,85 ± 31,30	84,17 ± 20,94	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p < 0,05. Ns = não significativo.

5.3 Pletismografia

A tabela 5 descreve os parâmetros pletismográficos dos grupos estudados. Ao realizar a comparação entre os dois grupos Controle e Pilotos, com modificação significativa para os parâmetros VR (L) e VR (%), CPT %, VR/CPT (L) e VR/CPT (%). Resultado semelhante observado na comparação entre os três grupos, conforme descrito na tabela 6.

Tabela 5 - Medidas de pletismografia dos grupos estudados – GControle x GPilotos

Parâmetros	GControle (0) 18	GPilotos (1) 19	p
VR L	2,63 ± 0,98	1,83 ± 0,87	≤ 0,01
VR %	147,3 ± 53,36	101,8 ± 49,84	≤ 0,01
CPT L	7,49 ± 1,29	7,05 ± 0,97	ns
CPT %	110,25 ± 15,79	98,42 ± 12,99	≤ 0,01
VR/CPT L	33,96 ± 9,28	25,27 ± 9,67	≤ 0,00
VR/CPT %	130,2 ± 37,08	98,57 ± 38,77	≤ 0,00
Raw L	2,54 ± 1,25	2,93 ± 1,47	ns
Raw %	186,7 ± 94,28	217,2 ± 105,20	ns
Sgaw L	0,15 ± 0,08	0,11 ± 0,04	ns
Sgaw %	68,33 ± 39,30	52,31 ± 20,38	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, Teste t independente para a distribuição com característica paramétrica e Mann Whitney característica não paramétrica. $p < 0,05$. Ns = não significativo.

Tabela 6 - Medidas de Pletismografia dos grupos estudados – GControle x GTransporte x GCaça

Parâmetros	GControle (0) 18	GTransporte (1) 6	GCaça (2) 13	p
VR L	2,63 ± 0,98	1,91 ± 1,05	1,79 ± 0,82	ns
VR %	147,3 ± 53,36	105,46 ± 61, 81	100,16 ± 46, 101	0-2
CPT L	7,49 ± 1,29	6,65 ± 0,88	7,23 ± 0,99	ns
CPT %	110,25 ± 15,79	93,46 ± 13, 65	100,71 ± 12, 55	ns
VR/CPT L	33,96 ± 9,28	27,57 ± 11, 42	24,2 ± 9,05	0-2
VR/CPT %	130,2 ± 37,08	108,56 ± 46, 75	93,96 ± 35, 64	0-2
Raw L	2,54 ± 1,25	2,61 ± 1,93	3,08 ± 1,27	ns
Raw %	186,7 ± 94,28	190,4 ± 132, 30	229,63 ± 93, 70	ns
Sgaw L	0,15 ± 0,08	0,14 ± 0,05	0,1 ± 0,03	ns
Sgaw %	68,33 ± 39,30	64,05 ± 26, 98	46,89 ± 14, 81	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. $p < 0,05$. Ns = não significativo.

5.4 Resultados de FOT

A Tabela 7 descreve os parâmetros FOT avaliados nos grupos estudados, onde os parâmetros R0, S, e Rm, apresentaram valores médios mais elevados no GPilotos em relação ao GControle, porém sem modificações significativas. De igual modo, foi observado resultado semelhante quando observado os três grupos separadamente (tabela 8).

Tabela 7- Medidas de FOT dos grupos estudados – GControle x GPilotos

Parâmetros	G Controle (0) N 18	G Pilotos (1) N 19	p
fr	12,80 ± 3, 62	10,99 ± 3,20	ns
Xm	0,38 ± 0,33	0,53 ± 0,34	ns
R0	2,86 ± 0,74	2,84 ± 0,86	ns
S	2,83 ± 16,73	8,16 ± 17,01	ns
Rm	2,89 ± 0,77	2,92 ± 0,84	ns
Cdyn	0,02 ± 0,00549	0,02 ± 0,00	ns
Z4Hz	3,57 ± 0,99	3,47 ± 1,06	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, Teste t independente para a distribuição com característica paramétrica e Mann Whitney característica não paramétrica. p< 0,05. Ns = não significativo.

Tabela 8 - Medidas de FOT dos grupos estudados – GControle x GTransporte x GCaça

Parâmetros	GControle (0) N = 18	GTransporte (1) N = 6	GCaça (2) N = 13	p
fr	12,80 ± 3, 62	10,69 ± 2,91	11,13 ± 3,43	ns
Xm	0,38 ± 0,33	0,53 ± 0,31	0,54 ± 0,36	ns
R0	2,86 ± 0,74	2,33 ± 0,75	3,08 ± 0,82	ns
S	2,83 ± 16,73	3,23 ± 18,41	10,44 ± 16, 59	ns
Rm	2,89 ± 0,77	2,37 ± 0,64	3,18 ± 0,81	ns
Cdyn	0,02 ± 0,00549	0,025 ± 0,009	0,02 ± 0,005	ns
Z4Hz	3,57 ± 0,99	2,93 ± 1,10	3,72 ± 0,98	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p< 0,05. Ns = não significativo.

5.5 Horas de voo e parâmetros de função pulmonar

Diante dos resultados apresentados analisados de maneira primária ao longo da pesquisa, observação a necessidade de complementar a partir de uma nova caracterização da amostra, agora considerando os resultados no GPilotos em subgrupos distribuídos em frações de tempo de serviço a partir das horas de voo. A tabela 9, expõe os resultados a partir dos parâmetros antropométricos e nas tabelas 10 e 11, descrevemos os resultados das análises de correlação entre as horas de voo e os parâmetros de espirometria, pletismografia e FOT. Foi observado correlação razoável e inversa, com modificações significativas para os parâmetros VEF₁/CVF, FEF₂₅₋₇₅, FEF/CVF de acordo com o demonstrado nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Dados antropométricos a partir da caracterização por horas de voo

Parâmetros	GControle (N = 18) (0)	GPilotos			P
		Até 1000 h (N = 4) (1)	1000 a 1500 h (N = 10) (2)	> de 1500 h (N = 5) (3)	
Idade (anos)	33,27 ± 5,63	28,75 ± 0,5	30,77 ± 1,56	33 ± 1,78	1-2, 1-3, 2-3
Peso (kg)	80,22 ± 8, 62	80 ± 5,58	85,96 ± 7,10	79,31 ± 8,14	ns
Altura (cm)	175,16 ± 5,28	178 ± 9,20	178,36 ± 5,46	176 ± 5,93	ns
IMC (kg/m ²)	26,06 ± 2,13	25,94 ± 2, 13	26,98 ± 1,40	25,2 ± 2,62	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p < 0,05.

Ns = não significativo.

Tabela 10 – Correlação entre horas de voo e os parâmetros de função pulmonar a partir da espirometria e pletismografia.

Horas de voo	CVF L	VEF ₁	VEF/CVF	FEF _{25-75%}	FEF/CVF	VR	CPT	VR/CPT
R	,042	-,318	-,498	-,468	-,476	-,372	-,184	- 367
p	,865*	,184*	,030*	,044*	,039*	,117*	,450*	,122

Nota: Resultados apresentados em correlação. P < 0,05 foi considerado significativo. * Correlação de Person, correlação de Sperman.

Tabela 11 – Correlação entre horas de voo e os parâmetros de função pulmonar a partir da FOT.

Horas de voo	Raw	Sgaw	fr	Xm	S	R0	Rm	Cdyn	Z4Hz
R	,055	-,290	,100	,022	-,187	,284	,303	-,443	,229
p	,825	,229	,683	,928	,443*	,238	,208	,057	,346

Nota: Resultados apresentados em correlação. P < 0,05 foi considerado significativo. *Correlação de Person, **correlação de Sperman.

Na tabela 12 observamos que o GPilotos apresentou valores médios mais elevados na comparação com o GControle, com ligeiro decréscimo conforme o aumento das horas de voo.

Tabela 12 - Medidas de espirometria a partir da caracterização por horas de voo

Parâmetros	G Controle		GPilotos		P
	(N = 18) (0)	Até 1000 h (N = 4) (1)	1000 a 1500 h (N = 10) (2)	> de 1500 h (N = 5) (3)	
CVF L	4,97 ± 0,22	5,08 ± 0,21	5,46 ± 0,62	5,37 ± 0,62	ns
CVF %	98,39 ± 7,24	95,95 ± 8,58	102,08 ± 8,25	101,4 ± 5,91	ns
VEF ₁ L	3,97 ± 0,49	4,53 ± 0,47	4,32 ± 0,57	4,21 ± 0,49	ns
VEF ₁ %	95,59 ± 10,70	102,07 ± 7,85	97,47 ± 9,93	96,5 ± 8,28	ns
VEF ₁ /CVF L	80,8 ± 5,87	89,20 ± 8,17	79,12 ± 5,22	78,67 ± 5,45	ns
VEF ₁ /CVF %	96,95 ± 7,37	106,45 ± 11,17	95,25 ± 6,63	94,9 ± 6,17	ns
FEF ₂₅₋₇₅ % L	4,02 ± 1,20	5,275 ± 1,34	4,095 ± 0,97	3,89 ± 0,92	ns
FEF ₂₅₋₇₅ %	86,84 ± 23,99	104,25 ± 27,24	84,78 ± 19,99	84,64 ± 19,21	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF L	0,82 ± 0,24	1,03 ± 0,25	0,75 ± 0,16	0,73 ± 0,18	ns
FEF ₂₅₋₇₅ /CVF %	88,27 ± 23,58	110,32 ± 34,26	83,36 ± 20,78	83,7 ± 19,29	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p < 0,05. Ns = não significativo.

Na tabela 13, observamos decréscimo dos valores médios pletismográficos na comparação com o grupo controle, com progressiva redução com o aumento das horas de voo. Os parâmetros VR/CPT L e % apresentaram modificação significância.

Tabela 13 - Medidas de pletismografia a partir da caracterização por horas de voo

Parâmetros	G Controle		GPilotos		P
	(N = 18) (0)	Até 1000 h (N = 4) (1)	1000 a 1500 h (N = 10) (2)	> de 1500 h (N = 5) (3)	
VR L	2,63 ± 0,98	2,23 ± 1,19	1,76 ± 0,67	1,6 ± 1,07	ns
VR %	147,39 ± 53,36	124,77 ± 69, 20	97,94 ± 33,82	91,3 ± 65,66	ns
CPT L	7,49 ± 1,29	6,85 ± 1, 06	7,2 ± 0,98	6,91 ± 1,07	ns
CPT %	110,25 ± 15,79	96,75 ± 16,31	99,71 ± 10,17	97,2 ± 17,84	ns
VR/CPT L	33,96 ± 9,28	31,26 ± 12, 54	24,22 ± 7,13	22,57 ± 11,84	0-2, 0-3
VR/CPT %	130,22 ± 37,08	124,47 ± 50, 38	93,88 ± 28,04	87,24 ± 46,95	0-2, 0-3
Raw L	2,54 ± 1,25	2,60 ± 2, 32	3,01 ± 1,31	3,06 ± 1,32	ns
Raw %	186,78 ± 94,28	183,65 ± 151, 24	223,92 ± 93,06	230,76 ± 108,12	ns
Sgaw L	0,15 ± 0,08	0,15 ± 0,06	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03	ns
Sgaw %	68,33 ± 39,30	70,12 ± 31,34	46,86 ± 14,38	48,96 ± 16,08	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p < 0,05. Ns = não significativo.

Na tabela 14 os principais achados mostram ligeira queda dos valores médios de R0, Rm e Z4Hz do GPilotos em relação ao GControle, porém sem modificações significativas. As figuras 12 A e 12 B expressam graficamente esses achados através das curvas de resistência e reatância em função da frequência nos voluntários do GControle e os subgrupos de Pilotos caracterizados por horas de voo.

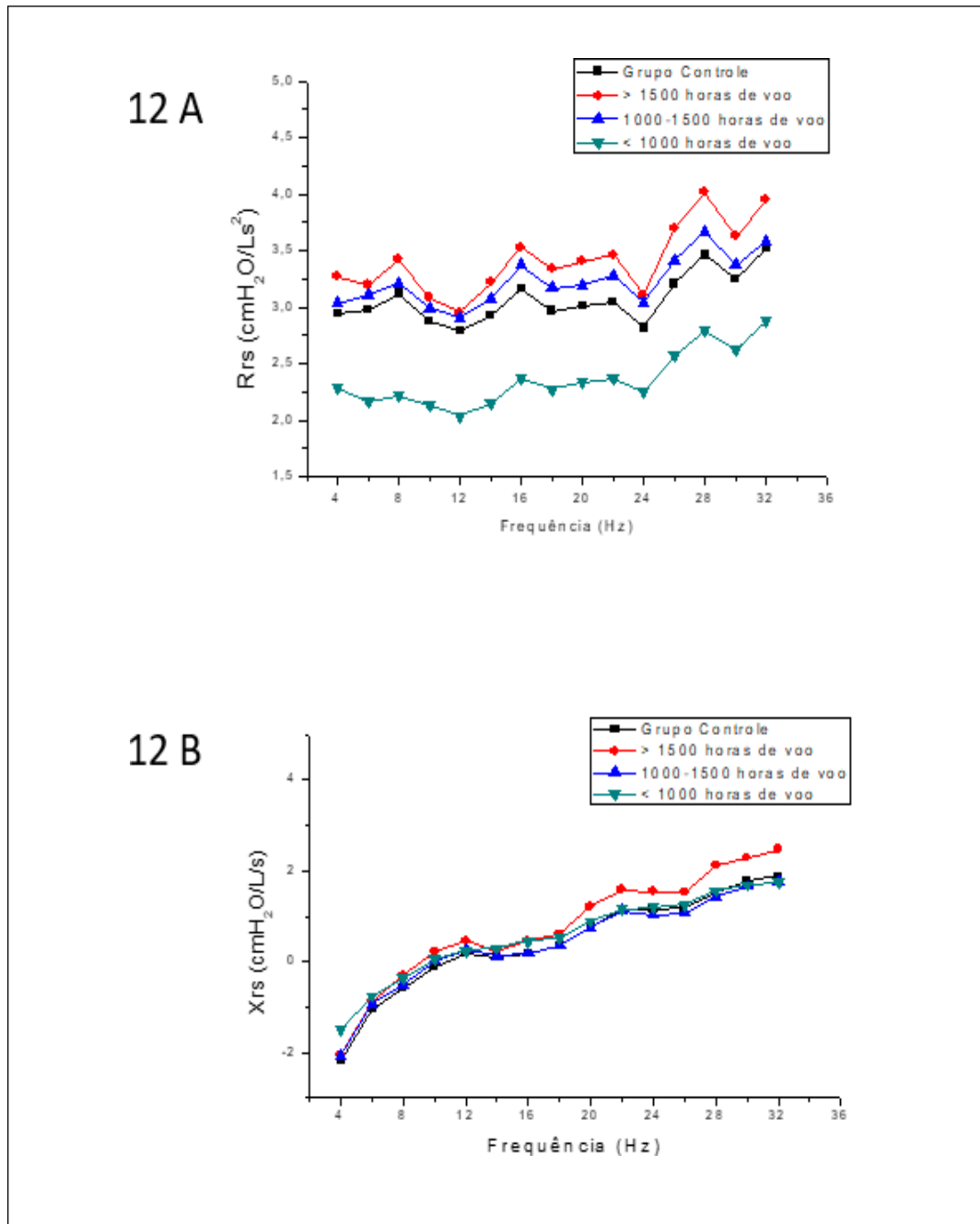
Tabela 14 - Medidas de FOT dos grupos estudados a partir da caracterização por horas de voo

Parâmetros	G Controle	Até 1000 h	1000 a 1500 h	> de 1500 h	P
	(0)	(1)	(2)	(3)	
fr	12,80 ± 3, 62	10,32 ± 2,48	11,45 ± 3, 96	10,74 ± 2,70	ns
Xm	0,38 ± 0,33	0,56 ± 0,24	0,45 ± 0,36	0,65 ± 0,37	ns
R0	2,86 ± 0,74	2,18 ± 0,92	2,98 ± 0, 76	2,96 ± 0,68	ns
S	2,83 ± 16,73	0,97 ± 22, 70	11,57 ± 17,57	7,84 ± 13,29	ns
Rm	2,89 ± 0,77	2,19 ± 0,75	3,09 ± 0,75	3,05 ± 0,61	ns
Cdyn	0,02 ± 0,00549	0,029 ± 0,009	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0007	ns
Z4Hz	3,57 ± 0,99	2,75 ± 1, 12	3,62 ± 0,87	3,73 ± 1,23	ns

Nota: Resultados apresentados como média ± desvio padrão, ANOVA/ Teste de Tukey para a distribuição com característica paramétrica e Kruskal Wallis Anova/e Mann Whitney característica não paramétrica. p< 0,05. Ns = não significativo.

A Figura 12A e 12 B mostram os valores médios de Rrs e Xrs em função da frequência em voluntários do grupo controle e horas de voo dos pilotos, respectivamente.

Figura 12 - Resistência (12 A) e reatância (12 B) em função da frequência em voluntários do grupo controle e horas de voo



Fonte: O autor

6 DISCUSSÃO

O objetivo geral desse trabalho almejou descrever as possíveis modificações de função pulmonar em pilotos de combate da FAB, diante da exposição a altitudes elevadas e força de aceleração (Gz).

Nossos principais achados, considerando a exposição ao voo em suas diferentes esferas, sendo o piloto de transporte, com baixa exposição a carga G e piloto de caça com elevada, foram:

- A. Na comparação entre dois grupos, GControle e GPilotos, observamos valores médios aumentados para os parâmetros espirométricos apresentados no GPilotos e decréscimo para o parâmetros pletismográficos VR, CPT, VR/CPT e com valores de resistência pulmonar elevados em linha com os achados da FOT.
- B. Na comparação entre três grupos, GControle, GTransporte e GCaça, observamos valores médios ligeiramente mais elevados para o parâmetro de CVF nos grupos de pilotos caça em comparação aos demais grupos, e VEF_1 e $FEF_{25-75\%}$ com valores médios mais elevados para os grupos de pilotos em comparação ao controle, ambos sem modificações significativas.
- C. Ainda na análise entre três grupos, para os parâmetros pletismográficos, observamos valores médios mais baixos de VR, CPT e da VR/CPT no grupo de pilotos de caça em comparação com os demais grupos. Com modificações significativas para VR e VR/CPT na análise entre os grupos Controle e Caça.
- D. A resistência, seja medida através da pletismografia ou através da FOT, apresentaram valores médios progressivamente mais elevados, com queda da condutância. Com aumento também na carga de trabalho ventilatório medido através do $|Z4Hz|$. Ainda que sem alterações estatisticamente significantes.

Inicialmente acreditávamos que a exposição do sistema respiratório a todos os efeitos indesejáveis da aviação, poderia desencadear algum processo de dano pulmonar. Contudo, o mesmo não foi visto neste estudo, onde observamos que todos os parâmetros se mantiveram dentro dos limites de normalidade.

Apesar dos resultados não significativos, é preciso considerar que todos os sujeitos analisados são saudáveis e praticantes de atividade regular, sendo a aptidão física para o voo regulada pela ICA 54-1 (BRASIL, 2011) e inerente a prontidão militar. Compatível com essas características, nossos resultados mostraram parâmetros com ponto de corte previsto para um

comportamento de função pulmonar dentro dos limites de normalidade, conforme descrito na literatura (ATS, 2002; NEDER et al, 1999; SBPT, 2009,).

Na amostra estudada, não foi monitorada a especificidade de treinamento físico. A aptidão para o trabalho foi baseada nas normas previamente dispostas para o serviço militar (BRASIL, 2011). Contudo, Bateman et al (2006) relatam em estudo de revisão, que os efeitos do treinamento de força muscular, aptidão aeróbica e resistência à fadiga sobre a tolerância a força G ainda são um assunto complexo a ser discutido e sem resultados evidentes. Slungaard et al (2019), afim de investigar se o condicionamento físico interfere na tolerância a força G, realizou um programa de condicionamento por 12 semanas com 36 tripulantes da Força Aérea Real e da Marinha Real do Reino Unido através exercícios aeróbicos e de fortalecimento muscular com a periodicidade de duas vezes por semana. Ao final desse período, o estudo demonstra que o programa contribui para a redução do estresse fisiológico e avanço da tolerância a força G.

Todavia, nem o treinamento aeróbico pode ser considerado sempre prejudicial, nem o treinamento de força pode ser considerado universalmente eficaz para melhorar a tolerância +Gz (BULBULIAN, 1986).

Para o sistema respiratório, há melhora na capacidade pulmonar e nas taxas de consumo de oxigênio através do aumento da rede vascular pulmonar com a prática de atividade física regular (MCKENZIE, 2012).

Modificações sutis como as observadas nesta pesquisa, com ligeiro incremento progressivo da função pulmonar na comparação entre GControle e Gpilotos, assim como GControle, GTransporte e GCaça, expressados através de parâmetros espirométricos; podem ser um reflexo de adaptações do sistema respiratório a exposição em pequenas doses e ao longo de muitos anos de trabalho e não devem ser desconsideradas. A redução do VR para as mesmas comparações pode estar associada ao aumento da CVF, otimizando o volume de ar disponível para as trocas ventilatórias. Apesar disso, os valores médios de CPT também reduziram, sendo um contraponto para esta analogia.

Contrariando nossos achados, outros autores analisando função pulmonar em atletas de diferentes modalidades observaram volumes pulmonares estáticos maiores e maior capacidade de difusão pulmonar em nadadores de elite quando comparados a atletas corredores. Esses autores creditaram seus achados a possíveis diferenças de idade entre os controles combinados além de características genéticas. E sugerem mais estudos para esclarecimentos (CORDAIN & STAGER, 1988).

As semelhanças entre a atividade aérea e a prática de natação vão de encontro a combinação dos gestos laborais, visto que o nadador combina períodos de imersão em água, exercícios e apneia, com evidências de mudanças sutis na permeabilidade dos pulmões (DROBNIC et al, 2018). Para tais atletas de natação de alto rendimento, o treinamento físico em altitudes elevadas é frequentemente utilizado como forma de incremento as adaptações fisiológicas e, conseqüentemente, melhora da performance à atividade (LUNDBY & ROBACH, 2016; RODRIGUEZ et al, 2015). Essas reflexões trazem a luz a compreensão de que a exposição a altitudes elevadas pode funcionar como fator modificador da performance pulmonar ainda que na presença de adequado condicionamento físico. Em linha com os resultados apresentados no nosso estudo uma vez que o GControle e GPilotos diferem apenas no critério de exposição ao voo, sendo a aptidão física comum a ambos.

Não há relatos na literatura sobre as adaptações tardias do sistema respiratório na exposição a altitudes elevadas e sobrecarga G em pilotos de combate. Já em atletas de alto rendimento, as adaptações previamente documentadas consideram a resposta pulmonar ao exercício de alcance muito maior que o sistema cardiovascular ou muscular periférico (WARBURTON, SHEEL & MACKENZIE, 2008). É possível que em condições de aclimação ao trabalho em altitudes elevadas e sobrecarga G o resultado seja semelhante.

Em estudos com atletas de elite, a ventilação por minuto pode aumentar cerca de 20 vezes em comparação com os valores de repouso, mostrando que o pulmão tem habilidade para lidar com as demandas de trabalho pesado (WARBURTON, SHEEL & MCKENZIE, 2008), ainda que sofra as conseqüências relativas à tal feito.

Todavia, no ambiente laboral aéreo não coexiste apenas conotações de glória, é visto na literatura que o voo em ambientes de elevada carga G impõe forte desgaste cardiometabólico ao organismo (TESCH, HJORT & BALLDIN, 1983).

Bustamante-Sanchez et al (2018), realizaram um estudo com 23 aeronavegantes do sexo masculino em câmara hipobárica, incluindo medidas pré e pós exposição, sendo a amostra composta por: 7 tripulantes da aviação de transporte, 3 pilotos de transporte, 10 pilotos de helicóptero e 3 pilotos de Caça F-18, todos da Força Aérea Espanhola. Os autores relatam que exposição à hipóxia produziu aumento na percepção de estresse e esforço e diminuição da função dos músculos respiratórios independentemente do grupo da tripulação, sendo mais afetada negativamente em pilotos de transporte do que em pilotos de helicóptero e tripulação aérea de transporte. Uma vez que ao piloto de Caça é levado a experimentar momentos de baixa de oxigênio como experiência da atividade aérea rotineira, possivelmente, favorecendo

condições de aclimatação a esta condição e, conseqüentemente, levando a uma melhor resposta fisiológica quando exposto a tal.

Neste mesmo estudo de Bustamante-Sanchez et al (2018), VEF_1 e PFE se apresentaram reduzidos na população estudada, sendo essa queda significativa para pilotos de helicóptero no PFE e para tripulantes de transporte no PFE e no VEF_1 , sugerindo que estes podem ser associados a sintoma de fadiga dos músculos respiratórios após exposição hipóxica (BUSTAMANTE-SANCHEZ et al, 2018; POLLARD et al, 1997). Comparando os grupos, os pilotos de transporte apresentaram valores significativamente menores de VEF_1 nos pós-testes. Para o grupo de pilotos de caça, a CVF aumentou e VEF_1 e PFE reduziram, porém com mudanças não significativas para o pré e pós teste. Os autores associam o achado ao diferente perfil de treinamento físico e preparação técnica destas populações (BUSTAMANTE-SANCHEZ et al, 2018).

Em linha com esses autores, Beer et al (2017), observaram redução significativa dos valores médios de fluxos e capacidades pulmonares medidos através da espirometria, em 10 pilotos de caça da Força Aérea Americana, em condições de confinamento e altas cargas de suplementação de oxigênio. As medidas foram feitas em pré-voo e pós-teste com 12 horas de término do voo.

Hormeno-Holgado & Clemente-Suárez (2019), avaliaram a resposta psicofisiológica em 29 pilotos de caça da Força Aérea Espanhola em condições de exercício de combate e defesa aérea com duração aproximada de 30 minutos cada. As manobras de combate foram realizadas com altitude entre 8.000 e 18.000 pés (com suplementação de oxigênio) e com força G entre 0,5 e 5,9. As medidas de espirométricas foram feitas duas horas antes e 30 minutos após os voos. Os resultados apresentados pelos autores mostraram ligeira redução da CVF e aumento do VEF_1 e PFE, sem modificações significativas, na condição de exercício de ataque. Resultado semelhante foi visto para o exercício de defesa, porém com modificação significativa para CVF (HORMENO-HOLGADO & CLEMENTE-SUAREZ, 2019).

A redução dos fluxos e volumes pulmonares em situações agudas como as narradas pelos estudos acima citados, em condições de avaliação imediatas pós voo, são plausíveis a condições de fadiga dos músculos respiratórios. Ozturk et al (2012) descreve que as evidências de fadiga dos músculos respiratórios podem estar associadas as manobras musculares vigorosas realizadas durante todo o voo, com intuito de prover assistência mecânica para minimizar o efeito de distorção torácica, assim como, manter o retorno venoso adequado (OZTURK et al, 2012).

Alguns estudos apontam os músculos respiratórios como um importante fator para a fadiga proveniente da manobra anti G. Com intuito de avaliar força muscular respiratória após treinamento muscular respiratório (TRM) e função pulmonar de pilotos expostos a força G, Yang et al (2007), observaram que a força muscular aumentou após o TRM, no entanto, os testes de função pulmonar não sofreram mudanças. E, afirmam ainda, que os benefícios de TMR para alívio da fadiga muscular induzida pela manobra anti G ainda são pouco evidentes.

Contudo, em situações crônicas, como as avaliadas nesta pesquisa, a exposição em baixas doses e a longo prazo parece desencadear incremento na performance respiratória.

É fato que a força e a resistência dos músculos respiratórios melhoram com o treinamento de forma semelhante ao músculo esquelético periférico, contudo as alterações celulares em humanos (WARBURTON, SHEEL & MCKENZIE, 2008) ou ainda o impacto dessa resposta na função pulmonar de pilotos de combate ainda não é documentado.

É admissível que a contínua exposição a deformações torácicas, alterações vasculares pulmonares, fechamentos de vias aéreas, além de outras repercussões peculiares ao ambiente da aviação de combate, leve a reprodução de adaptações de tecido, via aérea e parênquima pulmonar. Fatos visíveis nesta pesquisa através do aumento dos valores médios da resistência do sistema respiratório medidos através da pletismografia, assim como pela FOT, seja para comparação entre GControle e GPilotos, como para o aumento médio progressivo nos grupos Controle, Transporte e Caça. Com proporcional decréscimo da condutância, fornecendo uma medida de transferência de gás pulmonar.

Adicionalmente, a X_m medida através da FOT, reflete as alterações de homogeneidade pulmonar a partir das características elásticas do sistema (MELO et al, 2000; OOSTVEEN et al, 2003), e valores médios mais positivos foram observados nesta pesquisa tanto na análise entre os grupos Controle e Pilotos, como na comparação GControle, GTransporte e GCaça. Apesar do aumento da resistência e queda da condutância, uma possível melhora da elasticidade pulmonar pode ser associada ao ganho muscular a longo prazo, com melhor variação de pressão e assim melhor aproveitamento ventilatório.

Apesar dos efeitos descritos em estudos anteriores com pilotos de combate serem observados em condições agudas e com número de sujeitos reduzido, é possível inferir que a singularidade de cada perfil de aviação possa criar diferentes padrões de respostas fisiológicas.

Adicionalmente, nosso estudo destaca as modificações tardias da exposição aos efeitos deletérios da aviação, trazendo olhar complementar para o comportamento do sistema respiratório em condições crônicas. Considerando que é da rotina do caçador a utilização de manobras de proteção anti-G e contra os efeitos de G-LOC ao longo da jornada ocupacional

de voo (OZTURK et al, 2012), seria relevante associar a melhora da função pulmonar observada pelo nosso estudo no GCaça em comparação aos demais grupos a essa especificidade.

É visto que, indivíduos saudáveis que vivem permanentemente nessas regiões de altitude elevada, apresentam função pulmonar ligeiramente melhor que sujeitos que vivem em altitudes mais baixas ou nível do mar (ARISTIZABAL et al, 2019; DUISHOBAEV, AKUNOV, UULU et al, 2018).

Buscando esclarecer se as modificações encontradas teriam relação com o tempo de exposição a altitude ou a exposição a carga G isoladamente, analisamos os sujeitos a partir de subgrupos de horas de voo. Diante deste, nossos principais achados foram:

- A. Diferença significativa na idade dos subgrupos analisados.
- B. Correlação inversa significativa na comparação entre horas de voo e os parâmetros espirométricos VEF_1/CVF e $FEF_{25-75\%}$ em seus valores absolutos.
- C. Ligeiro incremento nos valores médios de CVF (L e %) e VEF_1 (L e %) com a progressão das horas de voo. Incremento dos valores médios de VEF_1/CVF (L e %), $FEF_{25-75\%}$ (L e %), FEF/CVF (L e %) na comparação entre o GControle e sujeitos com até 1000 horas de voo, com decréscimo posterior nos sujeitos com 1000 a 1500 e mais 1500 horas de voo. Contudo, mantendo valores dentro dos limites de normalidade.
- D. Os parâmetros pletismográficos VR, CPT e VR/CPT (L e %) apresentaram decréscimo na comparação do GControle com o GPilotos, com conforme a progressão da exposição em horas de voo.
- E. A resistência aumentou progressivamente em comparação ao GControle, com ligeiro decréscimo na condutância observado apenas nos grupos com mais de mil horas de voo. O aumento do trabalho respiratório foi visto na comparação entre o GControle e Pilotos, com incremento dos valores médios conforme a progressão da exposição em horas de voo.

A alteração da homogeneidade da amostra a partir dos parâmetros biométricos, com diferença significativa na idade dos subgrupos analisados, era esperada visto que os sujeitos recém ingressados na FAB ainda não tiveram oportunidade de vivenciarem maiores momentos de exposição ao voo. Contudo, o grupo com maior tempo de voo tem média de idade equivalente à do grupo controle.

A correlação inversa entre horas de voo e os parâmetros VEF_1/CVF e $FEF_{25-75\%}$, pode trazer a luz a possível ocorrência de disfunção das pequenas vias aéreas com o aumento da exposição ao voo. Esses achados podem ser reflexo de áreas de aprisionamento e limitação de fluxo expiratório (AZEVEDO & SANTOS, 2018), podendo ser associadas a modificações da

trama vascular pulmonar. Resultados em linha com o comportamento de valores médios mais elevados de resistência e decréscimo da condutância do sistema respiratório, também observados neste estudo. Contudo, parâmetros como VR/CPT (L e %) apresentaram valores decrescentes, contrariando esses achados (AZEVEDO & SANTOS, 2018). Porém, é plausível que estejamos diante de modificações iniciais e que nem todos os marcadores de disfunção estejam alterados.

Para esta amostra, a exposição ao trabalho em altitudes elevadas a partir da caracterização pelo acumulado de horas de voo, parece trazer mais efeitos danosos ao sistema respiratório nos pilotos de combate analisados. Sendo a ocorrência independente da presença de sobrecarga G.

A literatura é carente de estudos que descrevam as modificações de função pulmonar em populações semelhantes a analisada neste estudo. Existem relatos anteriores em populações que residem em ambientes de altitude elevada, considerando os efeitos temporários ou ainda a aclimatação a longo prazo (TALAMINOS et al, 2020). A adaptação vai de encontro a mudanças nos mecanismos de controle respiratório (WEITZ, GARRUTO, CHIN, 2016), adaptações genéticas que são transferidas por gerações como desenvolvimento de maiores volumes pulmonares, alterações nos gradientes artério-alveolares de oxigênio e aumento do fluxo sanguíneo da artéria uterina durante a gravidez sugerindo melhor eficiência no transporte e consumo de oxigênio (TALAMINOS et al, 2020).

O aumento no VR também é relato e justificado pelo aprimoramento da área alveolar e aumento moderado do número de hemácias (FRISANCHO, 2013). Contudo, neste estudo observamos redução dos valores médios de VR com a progressão da exposição ao voo. Em contextos fisiológicos relacionados ao adulto jovem, o VR se dá pela força de compressão proveniente da capacidade dos músculos expiratórios que se opõe a expansão da caixa torácica, nesse sentido a parede torácica é um componente importante para retração elástica do sistema respiratório em VR. No que se refere a elevação do VR, é possível considerar que pode estar associado a diferentes situações como diminuição de força muscular respiratória e aumento da resistência das vias aéreas e aumento da complacência pulmonar (BARRETO, 2002). Contudo, neste estudo observamos redução dos valores médios de VR com a progressão da exposição ao voo.

As alterações que ocorrem no sistema respiratório de sujeitos que vivem em regiões de altitude elevada visam melhorar a eficiência do consumo e transporte de oxigênio, mas estas parecem seguir diferentes vias de adaptação entre os povos (EICHSTAEDT et al, 2014; LORENZO et al, 2014).

Diante deste é possível inferir que há um somatório de ações a influenciar as adaptações do sistema respiratório dos pilotos de combate diante das atividades aéreas que exercem. Sendo estas, desde fatores particulares a exposição a altitudes elevadas até as demandas pertinentes a sobrecarga G.

Certamente, mais estudos são necessários para esclarecer as modificações crônicas de função pulmonar na população de pilotos de combate e ainda se essas modificações permanecem a partir do término da exposição.

7 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

- A principal limitação deste estudo foi o tamanho reduzido da amostra para cada grupo e a dificuldade de acesso aos pilotos uma vez os mesmos pertencem a um grupo de elite de aviadores entre os demais militares da FAB.

- Na época das coletas de dados houve o remanejamento dos pilotos à outras bases do Brasil em vista da reforma na pista de voo da Base Aérea de Santa Cruz, no Rio de Janeiro (RJ), de onde eram provenientes grande parte dos pilotos desta amostra. O que comprometeu ainda mais as coletas de dados com esses indivíduos.

- Ainda, devido à disponibilidade de recursos, não houve medições de parâmetros que analisassem a reposta vascular pulmonar, como a difusão de gases.

- A possível caracterização da prática de atividade física realizada como rotina por cada sujeito da amostra poderia fornecer maiores esclarecimentos acerca dos resultados, contudo, não foi objeto de estudo desta pesquisa.

- Em março de 2020, foram suspensas todas as coletas no LIB/UERJ devido a pandemia da COVID-19 e permaneceram assim por aproximadamente dois anos.

Estudos futuros devem levar em conta essas questões e ainda a possibilidade de reavaliar esses grupos em situações de início, meio e fim de carreira militar como pilotos de combate. Com a possibilidade de trazer à tona informações complementares de análise.

8 APLICAÇÕES PRÁTICAS

Esses resultados podem ajudar a encontrar treinamentos específicos para um melhor processo de preparação das tripulações, fornecendo parâmetros de avaliação seja pré e pós voo, protocolos de missões de combate, ou ainda como critério de avaliação e acompanhamento longitudinal quando em prática de treinamento físico militar específico para uma dada atividade operacional.

Enquanto muitas pesquisas concordam com a necessidade da oferta de treinamento muscular específico para cada tipo de atividade operacional, seja considerando musculatura respiratória ou periférica, grande parte das recomendações ainda carece de especificidade adequada visto que nem mesmo os melhores marcadores para determinar adequada performance operacional são adequadamente documentados.

É notável a carência de estudos que se declinem a compreender as modificações de função pulmonar considerando a exposição a longo prazo em pilotos de combate da Força Aérea Brasileira. A análise mais detalhada deste contexto, pode contribuir ao melhor enfrentamento a aprimoramento da performance humana e da relação homem-máquina nas forças armadas brasileiras.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos ligeiro incremento da função pulmonar de pilotos de transporte e caça na comparação com o grupo controle. Para esta análise, não foi observado modificações indicativas de anormalidades ou distúrbios obstrutivos e restritivos.

Ao que se refere ao período de exposição em voo, notamos um ligeiro incremento da função pulmonar com a progressão da exposição, com possível dano inicial nas pequenas vias aéreas. No entanto, mantendo os parâmetros dentro dos limites de normalidade.

A exposição ao trabalho em altitudes elevadas a longo prazo parece trazer mais efeitos danosos ao sistema respiratório que a presença de sobrecarga G.

Este estudo destaca a necessidade de melhor compreender as modificações pulmonares crônicas em pilotos de combate e, assim, produzir efeitos adequados de aprimoramento da performance humana e da relação homem-máquina.

Como perspectiva futura apresentamos a proposta de investigação da exposição ao voo, analisando o aviador desde a escola até os níveis de formação mais avançados. Esta estratégia poderia fornecer dados relevantes para compreensão do comportamento pulmonar a longo prazo e complementar os achados descritos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.F.W. As Forças Armadas Brasileiras Pós-Revolução de 31 de Março de 1964. **Defesa Nacional**. v. 81 n. 769, p 81-98, Jul. 1995.
- ALVES, L.F.A.; RIBEIRO, A.S.A.; BRANDÃO, L.M.; TEIXEIRA.; BISOL. Avaliação dos efeitos da altitude sobre a visão. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, [S. l.], v. 67, n. 5, p. 250 - 254, Out. 2008
- ATS/ILO - Guidelines for the use of the ILO international classification of radiographs of pneumoconiosis. **Occupational Safety and Health**. Geneva, 2002.
- ARISTIZABAL-DUQUE, L.; CASTIBLANCO, E.; RODRIGUEZ, I.; SOSSA-BRICENO, M.P.;ROGRIGUEZ-MARTINEZ, C.E. Reference values for spirometric parameters in healthy children living in a Colombian city located at 2640 m altitude. **Pediatric Pulmonology**. v. 54, n. 619, p. 886- 893, jun. 2019.
- AZEVEDO, K.R.S.; SANTOS, M.I.V. Medidas dos volumes pulmonares e estratégias de interpretação. **Pulmão, Rio de Janeiro RJ**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 33-38, out. 2008.
- BARKER, N.; EVERARD, M.L. Getting to grips with “dysfunctional breathing.” **Pediatric Respiratory Reviews**, v. 16, n. 1, p. 53-61, jul. 2015.
- BARRETO, S.S.M. Determinação dos volumes pulmonares - Métodos de mensuração dos volumes pulmonares. **J Pneumol.**, [S. l.], v. 28 (3), p. 95-100, out. 2002.
- BATEMAN, A.W. JACOBS, I. BUICK, F. Physical conditioning to enhance +Gz force tolerance: issues and current understanding. **Aviat Space Environ Med**, [S. l.], v. 77, n. 6, p.573-580, jun. 2006.
- BATES, J.H.; IRVIN, C.G.; FARRE, R.; HANTOS, Z. Oscillation mechanics of the respiratory system. **Comprehensive Physiology**, [S. l.], v.1, n. 3, p. 1233-1272, jul. 2011.
- BEER, J.; DART, T. S.; FISCHER, J.; KISNER, J. Pulmonary Effects from a Simulated Long-Duration Mission in a Confined Cockpit. **Aerospace Medicine and Human Performance**, Texas, v. 88, n.10, p. 952–957, oct. 2017.
- BORGES, L.L.; GUILHERME, A. F.J.; LIMA, R. A.; AGUIAR, B.G.C. Conhecimentos essenciais de fisiologia aeroespacial necessários para atuação do enfermeiro no transporte aeromédico: revisão de literatura. **Research Society and Development.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 209, jan. 2022.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Ensino da Aeronáutica. Portaria DEPENS nº 29/DE-6, de 19 de janeiro de 2011. Aprova a reedição da Instrução do Comando da Aeronáutica "Teste de Avaliação do Condicionamento Físico no Comando da Aeronáutica (ICA 54-1)". **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 21, f. 764, 31 jan. 2011.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral do Pessoal. PORTARIA DIRSA N.º 110/SECSYTEC, de 13 de novembro de 2012. Aprovar a segunda modificação da ICA 160-6 “Instruções Técnicas das Inspeções de Saúde na Aeronáutica”, aprovada pela portaria DIRSA N.º79/SECSYTEC, de 23 de maio de 2012. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 223, f. 12, 23 nov. 2012.

BRASIL. Decreto-Lei nº 9.077, de 8 de Junho de 2017. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica, no que concerne às aeronaves hostis ou suspeitas de tráfico de substâncias entorpecentes e drogas afins, e dispõe sobre a estrutura do Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro. **Presidência da República - Secretaria-Geral Subchefia para Assuntos Jurídicos**, Brasília, DF, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9077.htm Acesso em: 03 Abr. 2021.

BRASIL. **Política Nacional de Defesa/Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF. Ministério da Defesa, PND/END, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/2012/mes07/pnd.pdf>. Acesso em 04 set. 2021.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Noções Básicas da Especialidade - BLM**, Escola de Especialista de Aeronáutica, volume único, São Paulo, 2017. Disponível em: http://www2.fab.mil.br/ear/images/cfc/cfc_blm_logistica.pdf. Acesso em 09 de out. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-maior da Aeronáutica. Portaria N.º 2.102/GC3, de 18 de Dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018 - 2027: PCA 11-47. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n.222, p. 42, 20 dez. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria N.º 1.916/GC3, de 22 de Novembro de 2018. Aprova a DCA 55-41 “Progressão Operacional de Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 222, 20 dez. de 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria N.º 1.597/GC3, de 10 de Outubro de 2018. Aprova a reedição da DCA 11-45 "Concepção Estratégica - Força Aérea 100". **Boletim do Comando da Aeronáutica**, n 180, p 20, 15 out. 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando-geral do Pessoal. Portaria N.º 317/GC1, de 9 de Março de 2020. Aprova a reedição do Plano de Pessoal da Aeronáutica - PPAER para o ano de 2020. PCA 30-1. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, n.41, 12 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Força Aérea Brasileira: asas que protegem o país**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/avca/>. Acesso em 03 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Força Aérea Brasileira: asas que protegem o país**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/31128>. Acesso em: 03 nov. 2021.

- BULBULIAN, R. Physical training and +Gz tolerance reevaluated. **Aviat Space Environ Med.** [S. l.], v. 57, n. 7, p. 709-711, jul. 1986.
- BURTUN, R.R. G-induced loss of consciousness: definition, history, current status. **Aviat Space Environ Med.**, [S. l.], v. 59, n.1, p.2-5, jan. 1988.
- BUSTAMANTE-SANCHES, A.; DELGADO-TERÁN, A.; CLEMENTE-SUÁREZ, V.C. Resposta Fisiológica de diferentes tripulações aéreas no treinamento de hipóxia normobárica. **Ergonomics**, [S. l.], v. 62, n.2, p. 5-24, jul. 2017.
- BUTZKO, R. P.; SOTOLONGO, A. M.; HELMER, D. A.; KLEIN-ADAMS, J. C. et al. Forced oscillation technique in veterans with preserved spirometry and chronic respiratory symptoms. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, New Jersey, v. 260, p. 8-19, feb. 2019.
- CAUBERGS, M.; VAN DE WOESTIJNE, K.P. Instantaneous measurements of total respiratory impedance. **Eur Respir Rev**, [S. l.], v.3, n.1, p. 226-227, 1991.
- CAVALCANTI, J.V. et al. Técnica de oscilações forçadas na análise da resposta broncodilatadora em voluntários sadios e indivíduos portadores de asma brônquica com resposta positiva. **J. Bras. Pneumol.**, São Paulo, v.32, n. 2, p. 91-98, Apr. 2006.
- CAMPOS, M. C.; PAIVA, P. T.; PRICEVICIUS, T.; VARANDA, T. V. C. **Glossário de aviação** São Paulo: Núcleo de Estudos de Tradução, 2002.
- COSTA, D.; JAMANI, M. Bases do Fundamento da Espiritometria. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 95-102, abr. 2001.
- CORDAIN, L.; STAGER, J. **Pulmonary structure and function in swimmers**. Sports Med, [S. l.], 6, n. 5, p. 271-278, 1988.
- DE MELO, P.L. Técnica de oscilações forçadas na prática pneumológica: Princípios e exemplos de potenciais aplicações. **Pulmão RJ**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p.42-48, 2015.
- DE MELO, P.L.; WERNECK, M.M; GIANELLA-NETO, A. Avaliação da mecânica ventilatória por oscilações forçadas: Fundamentos e aplicações clínicas. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Rio de Janeiro, v. 26, n.4, p. 194 - 216, jul-ago. de 2000.
- DONALD, C. M. Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. **British Journal of Sports Medicine**, [S. l.], v. 46, n. 6, p. 381-384, jan. 2012.
- DO VALLE, E. L. T. Resistência das vias aéreas: técnica da oscilação forçada. **Jornal de Pneumologia**, Brasil, v. 28(Supl 3), p. 151-152, out. 2002.

DROBNIC, F.; GARCÍA-ALDAY, I.; BANQUELLS, M.; BELLVER, M. Edema Pulmonar Intersticial e Acetazolamida no Esporte de Alto Rendimento: Relato de Caso. **Arco Bronconeumología**, Espanha, v. 54, n.11, p. 584-585, nov. 2018.

DUBOIS, A.B.; BOTELHO, S.Y.; COMROE, J.H.; A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. **Journal Clinical Investestigation.**, Philadelphia, v.35, p. 327-35, mar. 1956.

DUBOIS, A. B.; RODY, A. W.; LEWIS, D.H.; BURGESS, F.B. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. **Journal of Applied Physiology**, Philadelphia, v. 8, n.6, p. 587- 594, apr. 1956.

DUISHOBAEV, M. AKUNOV, A. UULU, K.M. *et al.* FEV1 and FVC changes at high altitude residents in Kyrgyzstan, Paris, **European Respiratoru Journal**, v. 52(suppl 62), p 1404, 2018.

EICHSTAEDT, C.A.; ANTÃO, T. *et al.* The Andean adaptive toolkit to counteract high altitude maladaptation: Genome-wide and phenotypic analysis of the collas. **PLoS One**, Spain, v. 9, n. 3. Marc. 2014. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0093314>. Acesso em: 20/08/2022.

ELBEHAIRY, A.F.; PARRAGA, G.; NEDER, J.A.; O'DONNELL, D.E. Mild chronic obstructive pulmonary disease: why spirometry is not sufficient! **Expert Review Respiratory Medicine**, v. 11, n.7, p. 549-63, Jul. 2017.

EPPERSON, W.; BURTON, R.R.; BERNAUER, E.M. Effectiveness of specific wright training regimens on simulated aerial combat maneuvering g tolerance. **Aviat Space Environ Med**, v. 56, n.5, p.534-539,1985.

ETEMADINEZHAD, S.; ALIZADEH, A. Valores de referência para espirometria em adultos saudáveis na província de Mazandaran. **J. Brasileira de Pneumologia**, Irã, v. 37, n. 5, p. 615-620, oct. 2011.

FARIA, A.C.D.; LOPES, A.J.; MELO, P.L. Técnica de oscilações forçadas na prática clínica: atuais aplicações e potenciais futuros. **Pulmão RJ**, Rio de Janeiro, v. 27, n.1, p.51-56, 2018.

GINDHART, R.T. **The air force physical fitness program is it adequate?** 1999. Monography. Air Command and Staff College - American Air Force University, Alabama, 1999.

GUL, M.; SALMANOGLU, M. Long-term high +Gz effects on cardiac functions in the pilots. **Anatolian Journal of Cardiology**, Geneva, v.12, n. 8, p. 675, sep. 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p.467.

HESS, D. R. Respiratory Mechanics in Mechanically Ventilated Patients. **Respiratory Care**, [S. l.], v. 59, n.11, p. 1773-1794, Nov. 2014.

HENNIGAN, W.J. F-22 Raptor oxygen problems may be worse than previously disclosed. **Los Angeles Times**, Los Angeles v.14, jun. 2012.

HINGHOFER-SZALKAY H. Gravity, the hydrostatic indifference concept and the cardiovascular system. **European Journal of Applied Physiology**, Graz, v. 111, n.2, p. 163-74, sep. 2011.

HORMEÑO-HOLGADOA, A.J.; CLEMENTE-SUÁREZ, V.J. Effect of different combat jet manoeuvres in the psychophysiological response of professional pilots. **Physiology & Behavior**, [S. l.], v. 208, p. 1-5, sep. 2019.

KNUDSON, R.; LEBOWITZ, M.; HOLBERG, C.; BURROWZ, B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. **The American Review of Respiratory Disease**, [S. l.], v. 127, n. 6, p. 725-34, may. 1883.

LÀNDSÉRN, F.J.; CLEMENT, A.I.; VAN DE WOESTIJNE, K.P. Normal Values of Total Respiratory Resistance and Reactance Determined by Forced Oscillations Influence of Smoking. **CHEST**, [S. l.], v. 81, n. 5, p. 586-591, may. 1982.

LORENZO, F.R.; HUFF, C.; MYLLYMAKI, M. *et al.* A genetic mechanism for Tibetan high-altitude adaptation. **Nature Genetics**, [S. l.], v. 46, n.9, p. 951- 956, sep. 2014.

LORINO, A.; ZERAH, F. *et al.* Respiratory resistive impedance in obstructive patients: linear regression analysis vs viscoelastic modeling. **The European respiratory journal**, Créteil, v. 10, n.1, p.150-155, jan. 1997.

LUNDBY, C.; ROBACH, P. O 'treinamento de altitude' aumenta o desempenho do exercício em atletas de elite? **Exp. Fisiol.**, [S. l.], v. 101, n. 7, p.783-788, jun. 2016.

MACLEOD, D.; BIRCH, M. Respiratory input impedance measurement: Forced oscillation methods. **Medical & biological engineering & computing**, Londres, v.39, p.505-516, may. 2001.

MANCOPES, P.; FONTOURA, A.; BARRETO, S.S.M. Determinação da capacidade pulmonar total: pletismografia versus método de diluição do hélio em respiração única após teste Broncodilatador. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p 5-12, 2000.

MILLS, J.F. **The effect of sustained G acceleration z upon endocrine function**. Thesis (Doctor of Philosophy), University of Surrey, Surrey, 1983.

MIRANDA, I.A, FARIA, A.C.D, LOPES, A.J.; JANSEN, J.M, DE MELO, P.L. On the respiratory mechanics measured by forced oscillation technique in patients with systemic sclerosis. **Plos One**, [S. l.], v. 8, 2013.

MESQUITA, I.M.; O poder aeroespacial e a estratégia nacional de defesa (END). **Revista da Escola Superior de Guerra**, [S. l.], v. 33, n. 67, p. 82-97, jan./abr. 2018.

NEDER, J.A.; ANDREONI, S.; CASTELO-FILHO, A.; NERY, L.E. Reference values for lung function tests. I. Static volumes. **Brazilian journal of medical and biological research**, Brasil, v. 32, n.6, p. 719 - 727, jun, 1999.

NEWTON, M.F.; O'DONNELL, D.E.; FORKETT, L. Response of lung volumes to inhaled salbutamol in a large population of patients with severe hyperinflation, **Chest.**, Canada, v.12, n.4, p. 1042-1050, jun. 2002.

NORDAHL, S.H; AASEM, T.; OWE, J.O.; MOLVAER, O.I. Effects of hypobaric hypoxia on postural control. **Aviation, space, and environmental medicine**, [S. l.], v. 69, n. 6, p.590-595, 1998.

OOSTVEEN, E.; MACLEOD, D.; LORINO, H.; FARRE, R. et al. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. **European Respiratory Journal**, United Kingdom, v. 2, n. 6, p. 1026–1041, 2003.

ORTEGA, V.J. et al. Human behaviour and development under high-altitude conditions. **Developmental Biology**, Oxford, v.9, n.4, p.400-410, 2006.

OZTUK, C.; IIBASMIS, M.S.; AKIN, A. Cardiac responses to long duration and high magnitude +Gz exposure in pilots: an observational study. **Anadolu kardiyoloji dergisi.**, Turkey, v. 12, n.8, p. 668-74, sep. 2012.

PEREIRA, C.A.C. Espirometria. **Jornal de Pneumologia**, Brasil, v. 28 (Supl 3), p. 1-82, out. 2002.

PEREIRA, C.A.C.; MOREIRA, M.A.F.J. Pletismografia – resistência das vias aéreas. **Jornal de Pneumologia**, Brasil, v. 28 (Supl 3), p. 139 - 150, out. 2002.

PEREIRA, C.A.C.; BARRETO, S.P.; SIMÕES, J.G.; PEREIRA, F.W.L. Valores de referência para espirometria em uma amostra da população brasileira adulta. **Jornal de Pneumologia**, Brasil, v.18, n.1, p. 10-22, marc. 1992.

PELLEGRINO. R.; VIEGI, G. *et al.* Interpretative strategies for lung function tests. **Eur Respir J.**, Genova, v. 26, n.5, p.948-68, 2005.

PESLIN, R. Methods for measuring total respiratory impedance by forced oscillations. **Bull Eur Physiopathol Respir.**, [S. l.], v. 22, n.6, p. 621 - 631, nov-dec. 1986.

POLLARD, A. J.; BARRY, N.P.; MASON, N.P.; COLLIER, D.J.; POLLARD, R.C.; MILLEDGE, J.S. Hypoxia, hypocapnia and spirometry at altitude. **Clinical Science**, [S. l.], v.92, n.6, p.593-598, 1997.

PRIDE, N.B. Forced oscillation techniques for measuring mechanical properties of the respiratory system. **Thorax**, London, v.47, n. 4, p. 317–320, apr.1992.

PARKHURST, M.J.; LEVERETT, S.D.; SHUBROOKS, S.J. 1972. Human tolerance to high, sustained +G_z acceleration. **Aerosp. Med.**, [S. l.], v.43, n.7, p. 708 - 712, jul. 1972.

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**, [S. l.], v. 83, n.10, p 975-984, out. 2012.

PRISK, GK. Pulmonary Circulation in Extreme Environments. **Comprehensive Physiology**, California, v. 1 p. 319 - 338, jan. 2011.

PRISK, G.K. Microgravity and the respiratory system. **European Respiratory Journal**. [S. l.], v. 43, p. 1459–147, may. 2014.

RAINFORD, J. D.; GRADWELL, P.D. **Ernsting's Aviation Medicine**. 4. ed. London: Hodder Arnold, p.864, 2006.

RIBEIRO, M. Dia da Aviação de Caça. **NoTaer**. Brasília, v. 4, p. 4-6, 2022. Disponível em: https://issuu.com/portalfab/docs/notaer_abril_2022. Acesso em: 10 mai. 2022.

RODRIGUES, A.D.; LAZARO, J.P.; FERNANDES, H.M.; VASCONCELOS-RAPOSO, J. Caracterização dos níveis de negativismo, ativação, autoconfiança e orientações motivacionais de alpinistas. **Motricidade**, [S. l.], v. 5, n.2 p. 63-86, 2009.

RODRÍGUEZ, F.A.; IGLESIAS, X.; FERICHE, B.; CALDERÓN-SOTO, C. *et al.* CHAVERRI. Treinamento de altitude em nadadores de elite para desempenho ao nível do mar (Projeto de altitude). **Med. Sci. Exercício Esportivo**, [S. l.], v. 47, p. 1965-1978, 2015.

RUSSOMANO, T.; CASTRO, J.C. **Fisiologia Aeroespacial - Conhecimentos Essenciais para voar com segurança**. 1.ed. Porto Alegre: EdUPUCRS, 2012, p. 147.

SÁ, P. M.; FARIA, A. C. D.; FERREIRA, A. S.; LOPES, A. J. *et al.* Validation of the Forced Oscillation Technique in the Diagnostic of Respiratory changes in patients with silicosis. **Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc**, [S. l.], 398-401, 2010.

SALE, V.M. A Escola de Aviação Militar (EAM): a decolagem de um sonho. **Revista UNIFA**. Rio de Janeiro, v 32, n.2, p. 14-24, Jul 2019.

SANTOS, C. Atuação das Aviações de Transporte, Reconhecimento e Busca e Salvamento. **NOTaer**. Brasília, Ano XLV I Nº 06 I Junho, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/mfsep/Downloads/notaer_junho_2021.pdf. Acesso em: 28 Fev. 2022.

SBPT - **Diretrizes para Testes de Função Pulmonar**. J Pneumol, Brasil, v. 38 (Suppl 3), 2009.

SCHOENE, R.B. Limits of Respiration at High Altitude. **Clin Chest Med.**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 405 - 414, 2005.

SHAPPELL, S.; DETWILER, C.; HOLCOMB, K.; HACK WORTH, C. *et al.* Human error and commercial aviation accidents: an analysis using the human factors analysis and classification system. **Human Factors**, [S. l.], v.49, n. 2, p. 227-42, 2007.

SHIRAI,T; KUROSAWA, H. Clinical Application of the Forced Oscillation Technique. **Internal Medicine**, [S. l.], v. 5, p. 559-566, 2016.

SLUGAARD, E. *et al.* Aircrew Conditioning Programme Impact on +Gz Tolerance. **Aerosp Med Hum Perform**. [S. l.], v. 90, n. 9, p. 764-773, 2019.

SILVEIRA, S. P.E.; DUARTE, A. P. D.; CORREIA, R. M. V. Medicina Aeronáutica: Uma Componente Aérea da Saúde Militar. **Revista Militar**. [S. l.], n., p. 923 – 0, 2006.

SOUZA, V.C.; Souza, E.P.; Silva, S.S. Atividade aérea, condições atmosféricas e transtornos cardiovasculares no organismo humano. **Aviation in Focus**, Porto Alegre, v.3, n.1, p. 100-117 –jan./jul. 2012.

SPONHOZ, J. Doenças Respiratória e viagens aéreas. **Temas em revisão – Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, 2007.

STARCZEWSKA-DYMEK, L.; ANDRZEJ, B.; TOMASZ, T. Application of the forced oscillation technique in diagnosing and monitoring asthma in preschool children. **Advances in Respiratory Medicine**, Poland, v. 87, n. 1, p. 25–35, 2019.

STEINMAN, Y.; VAN DEN OORD, M. H. A. H.; FRINGS-DRESEN, M. H. W.; SLUITER, J. K. Flight Performance During Exposure to Acute Hypobaric Hypoxia. **Aerospace Medicine and Human Performance**, Alexandria, v.88, n.8, p. 760–767, 2017.

TALAMINOS-BARROSO, A.; ROA-ROMERO, L.L.*et al.* Effects of genetics and altitude on lung function. **Clin Respir J.**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 247-256, mar. 2021.

TAMBORELLI, M.; CARNEVALI, L.C.; LIMA, P.W.; ZANUTO, R. Alterações cardiorespiratórias decorrentes do treinamento em grandes altitudes. **Revista Corpoconsciência**, Santo André, vol. 14, n. 2, p. 06-19, jul/dez 2010.

TOBIN, M.J.; CHADHA, T.S.; JENOURI, G.A. BIRCH, S. *et al.* Breathing Patterns: 1. Normal Subjects. **Chest**, [S. l.], v.83, n. 2, p. 202-205, aug. 1983.

TRINDADE, A.M.; SOUSA, T.L.F.; ALBUQUERQUE, A.L.P. A interpretação da espirometria na prática pneumológica: até onde podemos avançar com o uso dos seus parâmetros? **Pulmão RJ**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 3-7, 2015.

TESCH, P.A.; HJORT, H.; BALLDIN, U.I. Effects of strength training on G tolerance. **Aviat Space Environ Med.**, [S. l.], v.54, n8, p. 691-695, aug, 1983.

VIDOTTO, L.S.; CARVALHO, C.R.F.; HARVEY, A.; JONES, M. Disfunção respiratória: o que sabemos? **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 45, n. 1, out, 2019.

WEST, J.B. A strategy for in-flight measurements of physiology of pilots of high-performance fighter aircraft. **J Appl Physiol**, California, v. 115, p. 145–149, apr, 2013.

VAN DER PUTTEN, W.J.; MACLEOD, D.; PRICHARD, J.S. Within-breath measurement of respiratory impedance. **Physiological measurement.**, [S. l.], v.14, n. 3, p. 393-400, aug. 1993.

WEITZ, C.A.; GARRUTO, R.M.; CHIN, C. T. Larger FVC and FEV1 among Tibetans compared to Han born and raised at high altitude. **Am J Phys Anthropol.**, [S. l.], v. 159, n.2, p. 255-255, aug, 2016.

WARBUTON, D.E.R.; SHEEL, W.A.; MCKENZIE, D.C. Cardiorespiratory adaptations to training. *In*: Schwellnus MP, ed. **The Olympic Textbook of Sports Medicine**. West Sussex: Wiley-Blackwell , 2008, p. 93–111.

YANG, P. *et al.* Respiratory muscle training and the performance of a simulated anti-G straining maneuver. **Aviat Space Environ Med.**, [S. l.], v. 78, n. 11, p. 1034-1041, 2007.

APÊNDICE A - Parecer Comitê de Ética e Pesquisa do Comando da Aeronáutica – HFAG e do Hospital Pedro Ernesto - HUPE

HOSPITAL DE FORÇA AÉREA
DO GALEÃO



Elaborado pela Instituição Coparticipante

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ASPECTOS DE SAÚDE E DESEMPENHO OPERACIONAL DE PILOTOS DE **Pesquisador:** Grace Barros de Sá **Área Temática:**

Versão: 1

CAAE: 76680416.7.3002.5250

Instituição Proponente: COMANDO DA AERONAUTICA **Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.532.858

Apresentação do Projeto:

Este projeto tem a intenção de realizar diversos estudos em uma linha de pesquisa, para desenvolvimento da tese de doutoramento da pesquisadora Grace Barros de Sá, no Programa de Pós-Graduação em Fisiopatologia Clínica e Experimental da UERJ; para elaboração de artigo para obtenção de título de Pós-doutorado da pesquisadora Alini Schultz; e elaboração de dissertações de mestrado; além de subsidiar a Força Aérea Brasileira de dados e análises importantes para elaboração de um programa de treinamento voltado aos pilotos de caça brasileiros, visando à nova aquisição das aeronaves de combate Gripen NG, que serão recebidas a partir de 2019.

Objetivo da Pesquisa:

ESTUDO 1– Efeitos crônicos das acelerações do voo de combate sobre o sistema cardiovascular: **Objetivo:** O objetivo do estudo será analisar os efeitos crônicos das repetidas exposições às acelerações do voo de combate sobre o sistema cardiovascular, comparando pilotos experientes com pilotos novatos.

ESTUDO 2– Efeitos do TMR no desempenho e modulação vagal dos pilotos de combate. Objetivo: Investigar o efeito do Treinamento de Músculo Respiratório (TMR) sobre: a) o desempenho fisiológico, atividade autonômica e pressão intracraniana do piloto de caça em voo; b) variáveis cardiovasculares e respiratórias em repouso; c) marcadores centrais de risco cardiovascular, notadamente a modulação autonômica, reentrada parassimpática e sensibilidade barorreflexa.

ESTUDO 3– Efeitos do EMG biofeedback na contração muscular isométrica de membros inferiores e no controle da pressão arterial diante dos desafios ortostáticos em pilotos de combate. Objetivo: Analisar os efeitos de 8 semanas de treinamento muscular por EMG biofeedback em músculos dos membros inferiores na amplitude de sinal e constância da amplitude em repetidas contrações musculares, bem como na manutenção da pressão arterial em desafios ortostáticos.

ESTUDO 4- Efeitos da ETCC sobre o desempenho cognitivo-emocional de pilotos de combate. Objetivo: Investigar os efeitos da Estimulação Elétrica Transcraniana por corrente contínua (ETCC) sobre o desempenho cognitivo e o controle neural cardiovascular de pilotos de combate.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Desconforto durante a mudança de posição, Teste Cardiopulmonar: cansaço e alterações cardiovasculares, e tontura, enjoo, fadiga no treinamento de músculo respiratório.

Benefícios: Aumentar a resistência à fadiga, diminuir o risco cardiovascular, adaptação às situações de estresse, melhorar a resistência às situações +G, melhora do desempenho cognitivo-emocional, melhor preparo dos pilotos às atividades extenuantes e melhorar defesa nacional.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Estudo complexo e de alta relevância.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Não há pendência documental.

Recomendações:

O TCLE está muito extenso. A linguagem precisa ser mais acessível e mais objetiva.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Rever o TCLE.

Considerações Finais a critério do CEP:**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Projeto Detalhado	PROJETO_PILOTOS_2017.pdf	22/08/2017	Grace Barros de Sá	Aceito

Continuação do Parecer: 2.532.858

/ Brochura Investigador	PROJETO_PILOTOS_2017.pdf	00:50:15	Grace Barros de Sá	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_projeto_pilotos.pdf	22/08/2017 00:49:55	Grace Barros de Sá	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 08 de Março de 2018

Assinado por:
MARCELO ROLLA DE SOUZA
(Coordenador)



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ASPECTOS DE SAÚDE E DESEMPENHO OPERACIONAL DE PILOTOS DE
Pesquisador: Grace Barros de Sá Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 76680416.7.0000.5259

Instituição Proponente: Faculdade de Ciências Médicas

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.356.970

Apresentação do Projeto:

A exposição do corpo humano à alta aceleração +Gz no voo de combate produz efeitos dramáticos sobre o sistema cardiovascular e redução da perfusão cerebral. Os principais métodos para aumentar a tolerância G, e evitar a perda de consciência (G-LOC) no voo devido às alterações de fluxo sanguíneo, são os trajes anti-G, a pressão positiva de respiração e as manobras respiratórias. Porém, existem ainda poucos estudos sobre os efeitos fisiológicos crônicos da exposição à aceleração e dos possíveis impactos sobre as dimensões e a função cardiovascular de pilotos de combate. Alguns estudos apontam para efeitos crônicos da exposição G sobre o sistema cardiovascular com possíveis efeitos deletérios. Além da necessidade em manter saudável o piloto, é importante desenvolver protocolos de intervenção que promovam melhoria do desempenho do piloto, em vistas a defesa nacional. O Treinamento Muscular Respiratório (TMR) tem sido utilizado para uma variedade de objetivos como no tratamento de doenças e até mesmo para jovens saudáveis no intuito de melhorar o desempenho e minimização de riscos cardiovasculares. O TMR pode ser uma alternativa para promover

melhor modulação autonômica, diminuir a atividade simpática e aumentar a sensibilidade do barorreflexo e de quimiorreceptores em repouso, reduzindo, então, o risco cardiovascular e a morbidez. O TMR pode, portanto, ser uma alternativa inovadora de melhora de desempenho do piloto e medida protetiva de possíveis efeitos deletérios da repetida exposição à aceleração no voo e minimização de risco cardiovascular no piloto. Outras intervenções que podem ser benéficas serão testadas como o treinamento muscular isométrico por biofeedback, que podem melhorar o controle neural sobre a contração de músculos dos membros inferiores e favorecer o retorno venoso, e a estimulação elétrica transcraniana por corrente contínua, que pode favorecer o desempenho cognitivo-emocional, a tomada de decisão e consciência situacional do piloto.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: EStudo 1: O objetivo do estudo será analisar os efeitos crônicos das repetidas exposições às acelerações do voo de combate sobre o sistema cardiovascular, comparando pilotos experientes com pilotos novatos. Estudo 2: Investigar o efeito do Treinamento de Músculo Respiratório (TMR) sobre: a) o desempenho fisiológico, atividade autonômica e pressão intracraniana do piloto de caça em voo; b) variáveis cardiovasculares e respiratórias em repouso; c) marcadores centrais de risco cardiovascular, notadamente a modulação autonômica, reentrada parassimpática e sensibilidade barorreflexa. Outros Estudos: Investigar o efeito de protocolos de intervenção sobre as variáveis fisiológicas e o desempenho do piloto de caça, como o treinamento muscular por biofeedback de membros inferiores e a Estimulação Elétrica Transcraniana por corrente contínua.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os riscos inerentes às aplicações dos protocolos de avaliação e intervenção das pesquisas são baixos. Pode haver leves desconfortos durante a aplicação do teste de inclinação passiva, como tonturas, enjoo ou perda da consciência, no entanto, os testes serão acompanhados por médico. No Teste Cardiopulmonar de Exercício há o risco de sensação de cansaço extremo, tontura, enjoo, e alterações cardiovasculares em intensidades máximas, no entanto, os testes serão acompanhados por médico e todos os sujeitos serão aptos na inspeção de saúde anual da Aeronáutica e saudáveis, que minimiza os riscos cardiovasculares. No treinamento de músculo respiratório, pode ocorrer tontura e fadiga da musculatura

respiratória. No teste de função endotelial podem ocorrer desconfortos no braço ao inflar o manguito em pressões elevadas, além de em raros casos o indivíduo apresentar tontura e enjoo. Na intervenção de biofeedback muscular, o indivíduo pode sentir fadiga muscular, cansaço e desconforto com os eletrodos. O uso da Estimulação Elétrica Transcraniana é considerado seguro, sem efeitos colaterais que coloquem em risco a integridade dos pacientes. Em uma revisão sistemática da literatura realizada com estudos utilizando ETCC em animais até fevereiro de 2011, houve apenas um relato inesperado de dano cerebral, em um animal que recebeu seis altas doses de corrente elétrica alternada (ânodo e cátodo), em densidades que variaram de 7-28 A/m² (Brunoni et al, 2011 a; Watcher, et al. , 2011).

Em relação a estudos em humanos, foi realizada uma revisão sistemática de todos os estudos originais utilizando ETCC publicados entre 1998 a agosto de 2010 (Brunoni et al, 2011b). De um total de 209 estudos (172 artigos), 56% descreveram efeitos adversos e destes, 63% relataram ao menos um efeito adverso (ou seja, 35% do total). Porém, apenas oito estudos relataram efeitos adversos de maneira sistemática – todos eram randomizados e placebo-controlados, sendo que taxas semelhantes de parestesia (39,3% vs. 32,9%), cefaleia (14,8% vs. 16,2%), sensação de esquentar/queimar (8,7% vs. 10%) e desconforto (10,4% vs. 13,4%) foram observadas nos grupos que receberam ETCC anódica e placebo, respectivamente, sendo diferença estatisticamente significativa. Portanto, há uma taxa baixa de efeitos adversos associados à ETCC. No entanto, cabe notar que quase metade dos estudos sequer mencionaram efeitos adversos, o que pode indicar que haja algum grau de viés no relato de efeitos associados à técnica. Corroborando a revisão anterior, uma análise de 693 sessões de estimulação transcraniana foi realizada por Fertonani e colaboradores (Fertonani et al, 2015), concluindo-se que a técnica é segura e indolor – em nenhum caso a neuromodulação foi classificada como dolorosa, particularmente irritante ou gerou algum efeito adverso. Todas as sessões foram aplicadas em diferentes áreas do couro cabeludo, com intensidades de corrente elétrica variando entre 0,75 a 2 mA (densidade de corrente entre 0,040 a 0,167 mA/cm²) e duração de estímulo entre 4 a 22 minutos. Todos os testes serão imediatamente interrompidos a pedido dos voluntários da pesquisa, caso apresentem algum sintoma. O suporte será dado com a presença de médico para o pronto atendimento.

Benefícios: O Treinamento Muscular Respiratório (TMR) tem sido utilizado para uma variedade de objetivos como no tratamento de doenças da medula espinhal, doença pulmonar obstrutiva crônica, esclerose múltipla, doença de Parkinson, desordens da voz, idosos sedentários e até mesmo para jovens saudáveis no intuito de melhorar o desempenho e

minimizar riscos cardiovasculares (McConnell e Romer, 2004; Sapienza e Wheeler, 2006; Hajghanbari et al, 2013). O TMR consiste uma carga limiar de pressão inspiratória ou expiratória, que requer do indivíduo produzir uma pressão negativa suficiente para ultrapassar o limiar de carga e iniciar a inspiração ou expiração pelo aparelho (McConnell e Romer, 2004), podendo produzir resultados expressivos na força respiratória em 4 a 8 semanas, com 20 a 30 min por dia de treinamento (McConnell e Romer, 2004; Sapienza e Wheeler, 2006; Sapienza, 2008; Ferreira et al., 2013), além de atenuar o efeito metaborreflexo dos músculos respiratórios para direcionar o fluxo sanguíneo para outras regiões durante o esforço e atenuar a fadiga periférica (Sheel, 2002; Legrand et al, 2007; Hajghanbari et al, 2013). A fadiga muscular inspiratória gera um aumento no metaboreflexo, que aumenta a atividade simpática periférica. Assim, a melhoria da força dos músculos respiratórios. por TMR pode aumentar a resistência à fadiga e diminuir o fluxo simpático, diminuindo o risco cardiovascular (Ferreira et al., 2013).O TMR pode ser uma alternativa para promover melhor modulação autonômica, diminuir a atividade simpática e aumentar a sensibilidade do barorreflexo e de quimiorreceptores em repouso, reduzindo, então, o risco cardiovascular e a morbidez (Ferreira et al., 2013; dos Santos Silva et al., 2013 ; Arquiza et al., 2013). Segundo o Task force: Heart rate variability (1996). Alterações na curva comprimento-tensão do diafragma podem modificar a atividade vagal e simpática sobre o nodo sinusal, via ajustes cardiovasculares (Arquiza et al., 2013).O biofeedback muscular é uma técnica para revelar aos seres humanos alguns de seus eventos fisiológicos internos, normais e anormais, na forma de sinais visuais e auditivos, de modo a ensiná-los a manipular estes eventos, mediante a manipulação dos sinais exibidos”. Pode ser usado para informar o paciente acerca dos movimentos, atividade muscular, força, deslocamento articular, ou outras informações fisiológicas, mediante a amplificação e exibição destas informações, de modo que o paciente possa aprender a controlar estes sinais. A melhora da atividade motora voluntária com a intervenção do biofeedback baseia-se no mecanismo de plasticidade do sistema nervoso central. A plasticidade consiste no potencial de reorganização funcional neural e resulta da adaptação a uma nova demanda. Este treinamento pode ser utilizado para um melhor controle da contração isométrica de grupamentos musculares de membros inferiores, que é uma manobra anti-G utilizada pelos pilotos de caça no intuito de promover um melhor retorno venoso. A Estimulação Elétrica Transcraniana por Corrente contínua é uma medida de intervenção para melhoria do desempenho cognitivoemocional, da tomada de decisão, da perfusão cerebral, sendo indicada para indivíduos como os pilotos, que possuem alta carga de trabalho cognitivo.A compreensão dos efeitos fisiológicos que permeiam as respostas agudas e crônicas à atividade rotineira e extenuante do piloto de caça, assim como

o estudo de protocolos de intervenção que possam promover a qualidade de vida, saúde e desempenho do piloto, é fundamental para a defesa nacional.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

No estudo 1, 30 pilotos de caça, 30 pilotos de transporte e 30 não-pilotos da Força Aérea Brasileira responderão uma anamnese (dados pessoais, idade, nível de atividade física, tabagismo e fatores de risco cardiovasculares) e farão 2 visitas. Uma para teste de Ecocardiografia bidimensional com doppler, outra para avaliação da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) e Pressão Arterial não-invasiva por pletismografia digital em repouso e durante o teste de inclinação passiva (Tilt-test). Serão realizados também testes de função endotelial por pletismografia por oclusão venosa. Serão colocados 3 eletrodos do ECG na região precordial para o registro da FC. Será instalado um manguito no braço direito para a monitorização não invasiva das variáveis hemodinâmicas. O membro superior esquerdo será posicionado ao lado do tronco no nível do coração e apoiado confortavelmente em uma plataforma; serão colocados dois manguitos, um no terço proximal do braço e outro no punho. Durante a análise de fluxo, o manguito colocado no terço proximal do braço, será inflado a 40 mmHg para o bloqueio do retorno venoso e, um minuto antes do início das medidas será inflado a 200 mmHg. Um sensor de mercúrio para detecção de alteração do volume do antebraço será colocado no maior diâmetro do antebraço com terminal conectado ao Pletismógrafo. No estudo 2 de intervenção, 15 dos pilotos de caça selecionados serão submetidos a provas respiratórias, como a avaliação da força dos músculos inspiratórios e expiratórios, por manuvacuometro e realizarão um Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo (TCP) em esteira rolante, pelo protocolo de Rampa com ergoespirometria. Os pilotos realizarão novamente testes do Estudo 1 (VFC, Tilt-test), Num segundo momento, esses pilotos farão um voo de caça onde serão medidas algumas variáveis como FC por um frequencímetro, oximetria de pulso, consumo de oxigênio com o equipamento de análise de gases ligado à máscara do piloto, e pressão intracraniana não-invasiva, por um sensor que toca a superfície da região parietal do indivíduo acoplado ao capacete do piloto. Após os testes iniciais em repouso e em voo, os pilotos serão submetidos ao Treinamento de Músculo Respiratório (TMR), incluindo treinamento inspiratório e expiratório, durante 9 semanas. Todos serão instruídos a realizar 30 inspirações e 30 expirações máximas, com carga de 50% da inspiração e expiração de pico no aparelho, duas vezes ao dia. Após o período de 9 semanas de TMR, os pilotos serão submetidos novamente aos testes iniciais em repouso de P_Imáx e da P_Emáx, além da reavaliação da VFC, VPA e SBR em repouso e das variáveis durante o Tilt-Test e do TCP. Serão, também, reavaliadas as

variáveis durante o voo, com protocolo similar de manobras, para verificar as adaptações ocorridas após o TMR. Os pilotos serão altamente treinados e os testes fisiológicos não afetarão a rotina e as tarefas em voo. Outros estudos: Em outros estudos posteriores de intervenção, pretende-se aplicar testes e intervenções com metodologias já descritas, além do treinamento muscular mediado por biofeedback com análise dos sinais por eletromiografia de superfície, onde os pilotos deverão permanecer na posição sentada similar à posição do assento do avião, e os eletrodos não-invasivos deverão ser posicionados nos pontos motores dos isquiotibiais, quadríceps e gastrocnêmios dos dois membros. E os pilotos serão orientados a realizar uma contração muscular ideal para promover o retorno venoso. Serão realizadas 16 sessões por 8 semanas. Em estudo posterior será analisado o efeito da Eletroestimulação Transcraniana por corrente contínua não invasiva. Serão realizados o Eletroencefalograma (EEG), teste de tempo de reação motora e tomada de decisão, registro dos intervalos R-R consecutivos e Em ensaio randomizado, duplo-cego, os sujeitos serão submetidos à estimulação anódica ou sham ou comporão o grupo controle. E, logo após a estimulação, os exames iniciais serão reaplicados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A pesquisa está bem estruturada e o referencial teórico e metodológico estão explicitados, demonstrando aprofundamento e conhecimento necessários para sua realização. As referências estão adequadas e a pesquisa é exequível.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto pode ser realizado da forma como está apresentado. Diante do exposto e à luz da Resolução CNS nº466/2012, o projeto pode ser enquadrado na categoria – APROVADO.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente, o CEP recomenda ao Pesquisador: Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e no termo de consentimento livre e esclarecido, para análise das mudanças; Informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa; O Comitê de Ética solicita a V. S^a., que encaminhe relatórios parciais de andamento a cada 06 (seis) Meses da pesquisa e ao término, encaminhe a esta comissão um sumário dos resultados do projeto; Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_809709.pdf	22/08/2017 01:00:17		Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_inc2.pdf	22/08/2017 00:59:37	Grace Barros de Sá	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_FAB0001.pdf	22/08/2017 00:58:45	Grace Barros de Sá	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_INC0001.pdf	22/08/2017 00:58:28	Grace Barros de Sá	Aceito
Projeto Detalhado	PROJETO_PILOTOS_2017.pdf	22/08/2017	Grace Barros de Sá	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 30 de Outubro de 2017

Assinado por:

DENIZAR VIANNA ARAÚJO

(Coordenador)

APÊNDICE B – FICHA CADASTRAL DO PROJETO DE PESQUISA ASPECTOS DE SAÚDE E DESEMPENHO OPERACIONAL DE PILOTOS DE COMBATE”.



FICHA CADASTRAL DO PROJETO DE PESQUISA ASPECTOS DE SAÚDE E DESEMPENHO OPERACIONAL DE PILOTOS DE COMBATE”.

NOME COMPLETO: _____

NOME DE GUERRA (MILITARES): _____

UNIDADE: _____

DATA DE NASCIMENTO: _____ IDADE ATUAL: _____ GRUPO DA PESQUISA: _____

TELEFONE DE CONTATO: _____

EMAIL: _____

É PILOTO OU AERONAVEGANTE? () SIM () NÃO

SE SIM, QUANTAS HORAS/VOO POSSUI? _____ QUANTAS HORAS/VOO DE CAÇA? _____

VOA COM QUE FREQUÊNCIA SEMANAL MÉDIA ATUALMENTE? _____ QUAL O AVIÃO ? _____

QUANTO TEMPO EM MÉDIA DURA CADA VOO? _____

PRÁTICA ATIVIDADE FÍSICA REGULARMENTE? () SIM () NÃO

SE SIM, QUAIS AS ATIVIDADES FÍSICAS E QUAL A FREQUÊNCIA SEMANAL DE CADA

ATIVIDADE? _____

FUMA () SIM () NÃO

POSSUI HISTÓRICO DE HIPERTENSÃO ARTERIAL () SIM () NÃO

POSSUI HISTÓRICO DE DIABETES () SIM () NÃO

SOBREPESO (ACIMA DE 10KG DO QUE CONSIDERA IDEAL) () SIM () NÃO

SENTE TONTURAS EVENTUALMENTE OU QUANDO SE LEVANTA? () **SIM** () **NÃO**

POSSUI ALGUMA OUTRA DOENÇA?

JÁ REALIZOU ALGUMA
CIRURGIA?_____

SENTE ALGUMA DOR NO
CORPO?_____

TEM PROBLEMAS OSTEOMIOARTICULARES QUE DIFICULTAM
A PRÁTICA DE ATIVIDADE
FÍSICA?_____

FAZ USO DE ALGUM MEDICAMENTO? () **SIM** () **NÃO** / SE SIM, QUAIS
MEDICAMENTOS?_____

DIREITO DE IMAGEM

AUTORIZA O USO DA SUA IMAGEM EM CONGRESSOS E APRESENTAÇÕES
FORMAIS DA PESQUISA? () **SIM** () **NÃO**

AUTORIZA O USO DA SUA IMAGEM EM REDES SOCIAIS? () **SIM** () **NÃO**

**ESTOU DE ACORDO E AFIRMO QUE AS RESPOSTAS ACIMA SÃO
VERDADEIRAS:**

ASSINATURA DO VOLUNTÁRIO

DATA:_____

APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado como voluntário a participar da pesquisa: **“ASPECTOS DE SAÚDE E DESEMPENHO OPERACIONAL DE PILOTOS DE COMBATE”**.

A JUSTIFICATIVA, OS OBJETIVOS E OS PROCEDIMENTOS:

As modernas aeronaves expõem o tripulante a forças acelerativas intensas. O avião *Gripen NG (SAAB, Suécia)*, adquirido recentemente pelo governo brasileiro para a Força Aérea, é capaz de gerar acelerações sustentadas maior que 9 vezes a gravidade (9+Gz), podendo chegar a 14G. Os aviões serão recebidos a partir de 2019. O investimento na formação do piloto é altamente dispendioso, assim como a aquisição de uma aeronave de alto desempenho como o *Gripen*, denotando uma necessidade emergencial de pesquisas voltadas a essa população, principalmente pela importância da sua missão de manter a soberania do espaço aéreo e defesa nacional.

Os dados dos estudos apresentados sobre efeitos crônicos do voo de combate não foram suficientes para esclarecer os efeitos de longo prazo à exposição G, especialmente sobre a morfologia, funções diastólica e sistólica, neurocardiovascular dos pilotos e possíveis efeitos deletérios.

Em paralelo a necessidade de manutenção da saúde do piloto, está a necessidade de melhoria do desempenho em voo e redução da fadiga para suportar a exigência física das aeronaves modernas, que pode ter como alternativa a utilização da técnica de TMR.

O Treinamento de Músculo Respiratório (TMR) pode ser uma ferramenta, não só para o desempenho fisiológico do piloto em voo, mas para minimizar o risco cardiovascular através da modulação autonômica mais adequada e melhores ajustes barorreflexos.

Outros protocolos de intervenção precisam ser testados para promover a qualidade de vida, saúde e desempenho do piloto.

O objetivo de um primeiro estudo será analisar os efeitos crônicos das repetidas exposições às acelerações do voo de combate sobre o sistema cardiovascular, comparando pilotos experientes com pilotos novatos e de um segundo estudo, investigar o efeito do TMR sobre: **a)** o desempenho fisiológico, atividade autonômica e pressão intracraniana do piloto de caça em voo; **b)** variáveis cardiovasculares e respiratórias em repouso; **c)** marcadores centrais de risco cardiovascular.

Nos outros estudos que serão realizados posteriormente, pretende-se analisar: **a)** os efeitos de 8 semanas de treinamento muscular por *EMG biofeedback* em músculos dos membros inferiores na amplitude de sinal e constância da amplitude em repetidas contrações musculares, bem como na manutenção da pressão arterial em desafios ortostáticos; **b)** os efeitos da Estimulação Elétrica Transcraniana por corrente contínua (ETCC) sobre o desempenho cognitivo e o controle neural cardiovascular de pilotos de combate.

No estudo 1, 30 pilotos de caça, 30 pilotos de transporte e 30 não-pilotos da Força Aérea Brasileira responderão uma anamnese contendo perguntas sobre dados pessoais, idade, nível de atividade física, tabagismo e fatores de risco cardiovasculares e farão 2 visitas. Uma para teste de Ecocardiografia bidimensional com doppler e um teste cardiopulmonar de exercício máximo, outra para realizar uma coleta de sangue, onde deverá iniciar com jejum de 12h, a avaliação da função endotelial por plestimografia de oclusão venosa, avaliação da Variabilidade da Frequência Cardíaca e Pressão Arterial não-invasiva por plestimografia digital, em repouso e durante o teste de inclinação passiva.

No estudo 2, 15 dos pilotos de caça selecionados serão submetidos a provas respiratórias, como a avaliação da força dos músculos inspiratórios e expiratórios e realizarão um Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo (TCP) em esteira rolante, com ergoespirometria. Num segundo momento, esses pilotos farão um voo de caça onde serão medidas algumas variáveis como registro da frequência cardíaca por um frequencímetro, oximetria de pulso, consumo de oxigênio com o equipamento de análise de gases ligado á máscara do piloto, e pressão intracraniana não-invasiva, por um sensor que toca a superfície da região parietal do indivíduo acoplado ao capacete do piloto. Após os testes iniciais em repouso e em voo, os pilotos serão submetidos ao Treinamento de Músculo Respiratório (TMR), incluindo treinamento inspiratório e expiratório com o equipamento *Powerlung*, durante 9 semanas. Todos serão instruídos a realizar 30 inspirações e 30 expirações máximas, com carga de 50% da inspiração e expiração de pico no aparelho, duas vezes ao dia. Após o período de 9

semanas de TMR, os pilotos serão submetidos novamente aos testes iniciais em repouso e durante o voo.

No Estudo 3, que participação 20 pilotos, os dois grupos serão submetidos aos protocolos iniciais em uma primeira visita: Será analisada a frequência cardíaca em repouso por 20 minutos. Posteriormente, será aplicado o teste de inclinação passiva (*Tilt-Test*), com inclinação de 70°, com alteração de 5° a cada 15 segundos. O piloto será monitorado com registro contínuo da Pressão arterial. Em uma segunda visita, será aplicada a eletromiografia (EMG) com equipamento não-invasivo e análise por eletrodos, onde os pilotos deverão permanecer na posição sentada similar à posição do assento do avião, e os eletrodos não-invasivos deverão ser posicionados nos pontos motores dos isquitiobiais, quadríceps e gastrocnêmios dos dois membros inferiores. E os pilotos serão orientados a realizar diversas contrações musculares consecutivas, com manutenção de no mínimo 10seg cada. Após os testes iniciais, os pilotos do grupo experimental (10 pilotos) serão submetidos a 16 sessões de treinamento de *EMG biofeedback*, não-invasivo, por 8 semanas, nas quais os pilotos visualizarão em monitor a atividade elétrica muscular. Após o protocolo de treinamento, os testes iniciais da primeira visita e da segunda visita serão reaplicados.

No estudo 4, 20 pilotos serão submetidos a exames iniciais como: Eletroencefalograma (EEG) para análise da atividade cortical por 10min, teste de tempo de reação motora e tomada de decisão, registro da frequência cardíaca por 15 min em repouso e durante o *Tilt-Test*, e realização do teste de Atenção Concentrada. Os sujeitos serão submetidos à estimulação eletrotranscraniana, procedimento não-invasivo e indolor, com eletrodos na cabeça, com a atividade elétrica ou placebo. E, logo após a estimulação, os exames iniciais serão repetidos.

DESCONFORTOS, RISCOS E BENEFÍCIOS:

Os riscos inerentes às aplicações dos protocolos de avaliação e intervenção das pesquisas são baixos. Pode haver leves desconfortos durante a aplicação do teste de inclinação passiva, como tonturas, enjoo ou perda da consciência, no entanto, os testes serão acompanhados por médico.

Alguns efeitos adversos, embora pouco frequentes, são descritos durante a realização da Pletismografia de Oclusão Venosa, com a colocação de nitroglicerina sublingual, que pode causar dores de cabeça e hipotensão arterial. Os participantes serão acompanhados durante os exames de pletismografia por equipe composta por médico e técnico de enfermagem para atendimento de intercorrências clínicas, se ocorrerem. Após a coleta sanguínea, pode haver

leves hematomas na região do braço. Os participantes receberão lanche após realização dos exames que necessitam de jejum prévio.

No Teste Cardiopulmonar de Exercício há o risco de sensação de cansaço extremo, tontura, enjoo, e alterações cardiovasculares em intensidades máximas, no entanto, os testes serão acompanhados por médico e todos os sujeitos serão aptos na inspeção de saúde anual da Aeronáutica e saudáveis, que minimiza os riscos cardiovasculares.

No treinamento de músculo respiratório podem ocorrer tontura e fadiga da musculatura respiratória. No teste de função endotelial podem ocorrer desconfortos no braço ao inflar o manguito em pressões elevadas, além de em raros casos o indivíduo apresentar tontura e enjoo.

Na intervenção de *biofeedback* muscular, o indivíduo pode sentir fadiga muscular, cansaço e desconforto com os eletrodos.

O uso da Estimulação Elétrica Transcraniana é considerado seguro e indolor, sem efeitos colaterais que coloquem em risco a integridade dos pacientes. Algumas pesquisas descreveram efeitos adversos. Porém, apenas oito estudos relataram efeitos adversos de maneira sistemática – todos eram randomizados e placebo-controlados, sendo parestesia, cefaleia, sensação de esquentar/queimar e desconforto.

Portanto, há uma taxa baixa de efeitos adversos associados à ETCC.

Todos os testes serão imediatamente interrompidos a pedido dos voluntários da pesquisa, caso apresentem algum sintoma. O suporte será dado com a presença de médico para o pronto atendimento.

Com relação aos benefícios, o Treinamento Muscular Respiratório (TMR) tem sido utilizado para uma variedade de objetivos como no tratamento de doenças da medula espinhal, doença pulmonar obstrutiva crônica, esclerose múltipla, doença de *Parkinson*, desordens da voz, idosos sedentários e até mesmo para jovens saudáveis no intuito de melhorar o desempenho e minimizar riscos cardiovasculares, além da melhoria do desempenho físico de atletas.

O *biofeedback* muscular é uma técnica para revelar aos seres humanos alguns de seus eventos fisiológicos internos, normais e anormais, na forma de sinais visuais e auditivos, de modo a ensiná-los a manipular estes eventos, mediante a manipulação dos sinais exibidos. A melhora da atividade motora voluntária com a intervenção do *biofeedback* baseia-se no mecanismo de plasticidade do sistema nervoso central que resulta da adaptação a uma nova demanda. Este treinamento pode ser utilizado para um melhor controle da contração isométrica de grupamentos musculares de membros inferiores, que é uma manobra anti-G utilizada pelos pilotos de caça no intuito de promover um melhor retorno venoso.

A Estimulação Elétrica Transcraniana por Corrente contínua é uma medida de intervenção para melhoria do desempenho cognitivo-emocional, da tomada de decisão, da perfusão cerebral, sendo indicada para indivíduos como os pilotos, que possuem alta carga de trabalho cognitivo.

A compreensão dos efeitos fisiológicos que permeiam as respostas agudas e crônicas à atividade rotineira e extenuante do piloto de caça, assim como o estudo de protocolos de intervenção que possam promover a qualidade de vida, saúde e desempenho do piloto, é fundamental para a defesa nacional.

**GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E
GARANTIA DE SIGILO:**

Você será esclarecido sobre a pesquisa em qualquer aspecto que desejar. Você é livre para recusarse a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios. Os pacientes que passarem pelas avaliações iniciais e por ventura desistirem, ou não conseguirem manter o programa de treinamento, também terão seus dados utilizados para pesquisa caso concordem.

Os pesquisadores irão tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Os resultados dos exames clínicos e laboratoriais serão enviados para você, ou seu médico, e permanecerão confidenciais. Seu nome ou o material que indique a sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo.

CUSTOS DA PARTICIPAÇÃO E RESSARCIMENTO:

Uma cópia deste consentimento informado será arquivada e outra será fornecida a você. A participação no estudo não acarretará custos para você e não será disponível nenhuma compensação financeira adicional. Em caso de haver gastos com transporte e alimentação, será feita uma compensação financeira de acordo com os gastos reais do participante.

**DECLARAÇÃO DA PARTICIPANTE OU DO RESPONSÁVEL PELA
PARTICIPANTE:**

Eu, _____ fui informado dos objetivos da pesquisa acima, de maneira clara e detalhada, e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e motivar minha decisão se assim o desejar. A pesquisadora Grace Barros de Sá certificou-me de que todos os dados desta pesquisa serão confidenciais. Também sei que caso existam gastos adicionais, estes serão

absorvidos pelo orçamento da pesquisa. Em caso de dúvidas poderei chamar a pesquisadora ou o pesquisador Paulo Farinatti no telefone (21) 99561-3981 ou (21) 2334-0775, respectivamente. Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Nome Assinatura do Participante, Data

Nome Assinatura do Pesquisador, Data

Nome Assinatura da Testemunha, Data

CONTATO DOS COMITÊS DE ÉTICAS EM PESQUISAS

Comitê de Ética em Pesquisas do Hospital Pedro Ernesto – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Endereço: Av. Vinte e Oito de Setembro, 77 Térreo - Vila Isabel - CEP 20551-030.

Tel: (21) 2868-8253 – E-mail: cep-hupe@uerj.br

Comitê de Ética em Pesquisas do Instituto Nacional de Cardiologia de Laranjeiras: Coordenadora Yolanda Cyranka - Tel.: (21) 3037-2307

Comitê de Ética em Pesquisas do Hospital da Força Aérea do Galeão (HAFG)