



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

**MATHEUS BRAZIELLAS SOUSA**, Cap Av

**Treinamento de manobra muscular contra os efeitos agudos de carga “G” para  
a operação do F-39 GRIPEN**

Rio de Janeiro

2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

MATHEUS BRAZIELLAS SOUSA, Cap Av

**Treinamento de manobra muscular contra os efeitos agudos de carga “G” para a operação do F-39 GRIPEN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato-Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão e Emprego da Força Aérea.

Orientador: Renan Antunes, Ten Cel Inf

Rio de Janeiro

2022

MATHEUS BRAZIELLAS SOUSA, Cap Av

**Treinamento de manobra muscular contra os efeitos agudos de carga “G” para a operação do F-39 GRIPEN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Renan Antunes**, Ten Cel Inf  
EAOAR

---

**Carlos Eduardo** José da Silva, Maj Esp Av  
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

## RESUMO

Com a aquisição das novas aeronaves de caça, os F-39 GRIPEN, com capacidade de manobras de até 9 vezes a força da gravidade (9G), a Força Aérea Brasileira (FAB) depara-se com um desafio de preparar seus pilotos para suportarem essas forças em manobras de combate e ataque. Nesse cenário de altas cargas “G”, os pilotos precisam aplicar uma Manobra de Resistência às Acelerações (*Anti-G Straining Manuever* - AGSM), difundida mundialmente na aviação de caça. Atualmente, esse treinamento não é realizado nos diversos esquadrões do Brasil. Dessa forma, este trabalho defende que o desenvolvimento de um plano de treinamento sistêmico e condicionado das AGSM é necessário para o preparo adequado das equipagens da FAB na operação do F-39 GRIPEN. Em um primeiro momento, será argumentado que o treinamento proposto poderá condicionar o piloto a realizar as AGSM de forma automática diminuindo a carga de trabalho durante o voo, permitindo manter sua atenção no gerenciamento dos complexos sistemas da aeronave, mesmo que em condições de altas cargas “G”. Além disso, será mostrado que a correta execução das AGSM poderá diminuir a incidência da chamada Perda de Consciência Induzida por cargas “G” (*Gravity Induced Loss of Consciousness* – G-LOC), causada pelas cargas de “9G”, mitigando o risco de incidentes e, até mesmo, acidentes fatais. Portanto, a FAB terá a oportunidade de iniciar a operação dos novos caças F-39 GRIPEN de uma forma mais eficaz e segura, tendo em vista o cenário de alta performance exigido por eles.

**Palavras-chave:** AGSM. Condicionamento. Carga G. F-39 GRIPEN. G-LOC.

## 1 INTRODUÇÃO

Na interação homem-avião, o piloto está sujeito às diversas cargas dinâmicas, que são os esforços sofridos durante o voo devido às manobras, turbulências, entre outros fatores. Uma dessas cargas é chamada de força “G”, segundo Homa (2010), trata-se de uma grandeza que demonstra a aceleração da gravidade sofrida pelo piloto. Quando estes fatores de cargas são aumentados, geralmente, devidos às curvas e as manobras realizadas pelo piloto, dentre outros fatores, ocasionam a sensação pelo piloto do aumento do seu próprio peso, sendo este aumento proporcional ao número de “G” aplicado na ação.

Além da referida sensação de aumento do próprio peso, destaca-se outra consequência importante, que é um profundo efeito sobre o seu sistema cardiovascular. Segundo Ernsting, Nicholson e Rainford (2006), esse distúrbio circulatório pode ser explicado como resultado da física newtoniana<sup>1</sup>, que é aplicada ao fluido [sangue] nas partes internas do corpo do piloto. Sendo assim, o sangue flui no sentido da cabeça para as extremidades com cargas superiores a “1G”. Como consequência dessa alteração no fluxo normal do sangue, em níveis suficientemente altos de cargas “G”, o piloto pode perder a consciência em voo.

Como mostra Davis *et al* (2008), esta perda de consciência pode ser classificada em níveis, dependendo da intensidade da força e duração em que ocorre. Sendo que, a condição mais extrema, portanto, a mais perigosa e suscetível a provocar acidentes, é chamada de Perda de Consciência Induzida por cargas “G” (*Gravity Induced Loss of Consciousness - G-LOC*).

Logo, no decorrer da história da aviação mundial, mecanismos, técnicas e trajes foram criados para permitir que o piloto consiga mitigar estes efeitos sentidos em seu corpo em razão da força “G”. Assim sendo, qualquer medida que evite ou diminua a tendência natural do sangue fluir para as extremidades, ajudará os pilotos a extraírem ao máximo a capacidade de suas aeronaves com segurança. Ainda conforme Davis *et al* (2008), a forma mais eficaz, desenvolvida para atingir esse objetivo, é pela utilização de manobras respiratórias e contração muscular contra os efeitos agudos da carga “G”, chamadas de Manobra de Resistência às Acelerações

---

<sup>1</sup> “A primeira lei de Newton afirma que, a menos que uma força aja, um corpo em repouso permanecerá em repouso e um corpo em movimento se moverá com velocidade constante em linha reta.”(ERNSTING, NICHOLSON e RAINFORD, 2006, p. 139, tradução nossa.)

(*Anti-G Straining Manneuver* - AGSM), desenvolvidas pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial.

Esse entendimento é, atualmente, muito oportuno no âmbito da Força Aérea Brasileira (FAB) que passará a operar com uma capacidade nominal de até “9G” de força, com a recente aquisição dos novos caças F-39 GRIPEN. Portanto, tornou-se relevante que a instituição acima referida adote medidas de treinamentos incisivos para o preparo dos seus pilotos, ensinando-os a utilizarem, de forma segura e eficaz, esses novos vetores adquiridos.

Dessa forma, este trabalho defende que o desenvolvimento de um plano de treinamento sistêmico e condicionado das AGSM é necessário para o preparo adequado das equipagens da FAB na operação do F-39 GRIPEN.

Em um primeiro momento, será argumentado que o treinamento proposto poderá condicionar o piloto a realizar as AGSM de forma automática diminuindo a carga de trabalho durante o voo, permitindo manter sua atenção no gerenciamento dos complexos sistemas da aeronave, mesmo que em condições de altas cargas “G”. Além disso, será mostrado que a correta execução das AGSM poderá diminuir a incidência de G-LOC, causado pelas cargas de “9G”, mitigando o risco de incidentes e, até mesmo, acidentes fatais, provenientes de uma perda de consciência em voo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 O treinamento da AGSM para criar um condicionamento reflexo, diminuindo a carga de trabalho do piloto na nacele**

Davis *et al.* (2008) explicou como deve ser realizada a AGSM, trata-se de uma manobra composta por duas partes, a primeira seria uma respiração com ciclos de expiração/inspiração rápidos (< 1 segundo) a cada 3-4 segundos. Isso mantém o oxigênio e diminui o dióxido de carbono no sangue, ao mesmo tempo em que alivia o aumento da pressão no peito e permite que o coração se reabasteça de sangue. E, concomitantemente, a realização da segunda parte, que consiste na contração isométrica dos músculos esqueléticos das pernas e abdômen. Essa etapa tem o intuito de aumentar a pressão no peito e deslocar o sangue desses músculos contraídos para regiões como os braços, peito e cérebro.

Como visto, a AGSM é uma manobra complexa por si só, ainda que executada

no solo, em ambiente controlado, a qual exige uma grande atenção e demanda cognitiva por parte do agente. Em voo, essa carga de trabalho aumenta consideravelmente, uma vez que é realizada concomitantemente com toda a ação da pilotagem, manutenção de parâmetros, gerenciamento de sistemas, utilização de armamentos etc. Sendo assim, o piloto precisará de um plano de treinamento que o condicione a realizar as manobras respiratórias e musculares de forma mais automática quanto for possível, adquirindo um condicionamento reflexo.

Ainda, Svensson *et al.* (1997) comparou a carga de trabalho mental do piloto de caça com a sua performance de pilotagem, quando em ambiente de aumento progressivo de complexidade. O teste foi aplicado em 18 pilotos, que realizaram um total de 72 missões simuladas em condições de baixa altitude e alta velocidade, em que, a complexidade foi variando em função da situação tática apresentada ao piloto no seu sistema de navegação. Verificou-se que, mesmo uma complexidade moderada de informações interferiu na tarefa de voo, observado pelo aumento da variação de altitude e que as correções de erros foram retardadas, quando a complexidade aumentou. Portanto, percebeu-se que a carga de trabalho mental era afetada diretamente pela complexidade da missão e que, essa carga mental maior, afetava aspectos objetivos e subjetivos do desempenho do voo e manuseio de informações.

Isto posto, pode-se observar que o ambiente da aviação de caça, num contexto complexo da guerra moderna, exige-se maior atenção por parte dos pilotos e que qualquer interferência na sua carga de trabalho mental, já alta, vai afetar diretamente o seu desempenho. Sendo assim, se ao tentar realizar uma manobra respiratória para conseguir suportar a carga demandada de “9G” no combate, o piloto precisar pensar para fazê-la, exigirá um esforço cognitivo considerável, aumentando sua carga de trabalho e, possivelmente, o seu desempenho na missão reduzirá. Pode-se dizer, então, que seria importante o piloto estar condicionado ao ponto de fazer a AGSM de forma mecânica e automática, para que consiga focar sua atenção nas demais demandas exigidas naturalmente num voo de combate.

Segundo Wilkinson e Jahanshahi (2015), o processo de aquisição de uma habilidade motora distingue-se em três fases: a cognitiva, a associativa e a autônoma. A primeira, fase cognitiva, requer maior atenção, uma vez que um indivíduo desenvolve uma compreensão das demandas da tarefa em mãos, dividindo a habilidade a ser aprendida em suas partes componentes e aprendendo os procedimentos básicos a serem seguidos. A segunda, fase associativa, envolve a

prática repetida da tarefa até que surjam padrões bem sucedidos de resposta, através da confiança no feedback, nesta fase, os componentes da tarefa que levam ao sucesso são mantidos, enquanto os componentes ineficazes são descartados. Então, a fase final, autônoma, envolve o aperfeiçoamento da habilidade adquirida para que possa ser executada de forma rápida e automática, sem atenção consciente.

Portanto, Wilkinson e Jahanshahi (2015) mostraram que é possível o piloto realizar a manobra AGSM de uma forma totalmente autônoma, sem ao menos pensar para fazê-la. Uma vez que, com treinamento correto, espera-se que ele atinja o último nível de autonomia proposto.

Com isso, obtém-se, assim, um possível aumento de performance do piloto, por diminuir a carga de trabalho cognitiva, ainda que, num ambiente complexo e de altas cargas “G”.

## 2.2 O uso AGSM para mitigar o risco de acidentes causados por G-LOC

De acordo com Burton (1991), ao longo da última década, a perda de consciência induzida por cargas “G” (G-LOC) foi reconhecida como um problema operacional significativo para pilotos de aeronaves de alto desempenho, tanto na Força Aérea dos Estados Unidos (*United States Air force* - USAF), quanto na Marinha dos Estados Unidos (*United States Navy* - NAVY).

A FAB já enfrentou este problema operacional do G-LOC ao operar caças de alto desempenho no seu passado, quando voava o Mirage III e o Mirage 2000, os quais atingiam “9G”. Após a desativação dessas aeronaves, seguindo a operação apenas com os caças A-1M e F-5M, que não operam na faixa de força “9G”, esse conhecimento e necessidade acabaram se perdendo. Deste modo, com a aquisição dos F-39 GRIPEN a retomada desse tema torna-se importante.

Lyons *et al.* (2004) relata que durante os anos de 1982 a 2001, houve 29 acidentes causados por G-LOC na USAF e, ainda, que todos os acidentes fatais ocorreram em aeronaves ocupadas por apenas um tripulante. Ou seja, com a modernização da sua frota, a FAB pode se deparar com uma condição latente de incidentes e até mesmo acidentes fatais no novo cenário operativo que se desenha. Sendo assim, é necessária uma preocupação em preparar os pilotos para que consigam operar esses novos vetores de forma eficaz, mas acima de tudo, segura.

Segundo o estudo de Slungaard *et al.* (2017), realizado na Royal Air Force

(RAF), destacou-se a preocupação dessa Força em criar medidas para reduzir significativamente a incidência de eventos de G-LOC. Dentre elas, podem ser incluídas, palestras em sala de aula da teoria da força “G” e execução correta da AGSM, além de um programa de condicionamento estruturado para aumentar a força geral dos grupos musculares envolvidos na manobra. Entretanto, a execução de um programa de treinamento de AGSM deve ser realizado várias vezes, não basta, portanto, o piloto aprender os movimentos e conhecer os efeitos da força “G” no seu corpo, se não houver o condicionamento. Como mostra Lyons *et al.* (1997) esse treinamento e conscientização das causas de G-LOC são técnicas e conhecimentos que exigem uma repetição e reforço ao longo dos anos.

Além disso, Lyons *et al.* (1997) também descreve que não bastou uma constante conscientização dos pilotos sobre G-LOC, feita nos *briefings*, fitas de vídeo e artigos de segurança. Os acidentes com aeronaves causados por uma AGSM realizada de forma inadequada continuaram a ocorrer. Para isso, foi desenvolvido um programa de teste para reforçar o desempenho adequado da AGSM em voo nas Forças Aéreas dos Estados Unidos na Europa (USAFE) em 1993. Logo, esse estudo mostrou que não basta apenas aulas, conscientização do G-LOC e o modo de execução de uma correta AGSM, é preciso treinamento constante e um feedback para correções efetivas.

Logo, até Forças Aéreas estrangeiras, acostumadas a operarem com caças de alto desempenho há bastante tempo, depararam-se com a necessidade de readequar seu treinamento para condicionar adequadamente os seus pilotos a realizarem corretamente as AGSM no intuito de diminuir a incidência de G-LOC. Neste contexto, a FAB tem a oportunidade de recomeçar a sua operação com caças de alto desempenho com uma postura preventiva em relação aos problemas causados pelo efeito das altas cargas “G”.

Portanto, a operação dos F-39 GRIPEN demandará que a FAB invista em um treinamento adequado, consciente e contínuo de AGSM permitindo que os seus pilotos consigam diminuir o risco latente de G-LOC, quando manobrando em “9G”, podendo assim, evitar, até mesmo, acidentes fatais.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aquisição dos novos de caça, F-39 GRIPEN, que possuem grande performance, a FAB depara-se com o desafio de preparar seus pilotos a operarem de forma adequada essa nova aeronave. Dentre um desses fatores de performance, destaca-se a capacidade do caça em operar com carga de até “9G”. Condição essa, propícia a causar perda de consciência do piloto durante altas cargas “G”, conhecida por G-LOC. Essa perda de consciência é resultante do fluxo sanguíneo que, devido às pressões exercidas sob o corpo do piloto, tende a sair da área da cabeça e concentrar-se nas extremidades.

Há relatos de acidentes com caças causados por G-LOC em outras Forças Aéreas. Uma das maneiras mais eficientes de mitigar essa condição é a chamada AGSM, uma manobra respiratória e muscular que dificulta essa tendência do fluxo sanguíneo, mantendo-o por mais tempo no cérebro do piloto.

Portanto, é importante que seja feito um treinamento adequado, constante e repetitivo da AGSM, de modo a tentar internalizar nos pilotos os movimentos corretos, ao ponto de que não precisarão pensar quando forem executá-los, pois serão movimentos automáticos, permitindo assim, que foquem maior atenção no controle e operação da sua aeronave a despeito do cenário complexo da guerra aérea moderna.

Além disso, esse treinamento, que permita aos pilotos realizarem a AGSM de forma eficaz, pode diminuir as chances de incidentes e até mesmo acidentes fatais, uma vez que evita que o piloto chegue à condição de perda total da consciência em voo.

Ao longo desse ensaio acadêmico, foi defendido que o desenvolvimento de um plano de treinamento sistêmico e condicionado das AGSM é necessário para o preparo adequado das equipagens da FAB na operação do F-39 GRIPEN.

Portanto, com a adoção desse treinamento proposto, a FAB terá a oportunidade de iniciar a operação dos novos caças F-39 GRIPEN de uma forma mais eficaz e segura, tendo em vista o cenário de alta performance exigido por eles.

Além disso, este treinamento pode contribuir como forma de educar os pilotos, no que diz respeito ao controle dos efeitos da força “G”, dos Esquadrões de Instrução Aérea (EIA), que operarem aeronaves capazes de empregar até “5G” de força e, até mesmo, no Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA - Esquadrilha da Fumaça) que opera constantemente com elevadas cargas “G” e em baixa altitude.

## REFERÊNCIAS

- BURTON, R. R. Panel on deliberate G-induced loss of consciousness: introduction. **Aviation, space, and environmental medicine**, [S. l.: s. n.], v. 62, n. 7, p. 609-611, 1991.
- DAVIS, J. R. *et al.* **Fundamentals of aerospace medicine**. 4th ed. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- ERNSTING, J.; NICHOLSON, A.; RAINFORD, D. **Ernsting's Aviation Medicine**. 4th ed. London: Hodder Arnold, 2006
- HOMA, J. M. **Aerodinâmica e teoria de voo**. 28. ed. São Paulo: Editora ASA, 2010.
- LYONS, T. J. *et al.* Assessment of the anti-G straining maneuver (AGSM) skill performance and reinforcement program. **Aviation, space, and environmental medicine**, [S. l.: s. n.], v. 68, n. 4, p. 322-324, 1997.
- LYONS, T. J. *et al.* Preventing G-induced loss of consciousness: 20 years of operational experience. **Aviation, space, and environmental medicine**, [S. l.: s. n.], v. 75, n. 2, p. 150-153, 2004.
- SLUNGAARD, E. *et al.* Incidence of G-induced loss of consciousness and almost loss of consciousness in the Royal Air Force. **Aerospace medicine and human performance**, [S. l.: s. n.], v. 88, n. 6, p. 550-555, 2017.
- SVENSSON, E. *et al.* Information complexity-mental workload and performance in combat aircraft. **Ergonomics**, [S. l.: s. n.], v. 40, n. 3, p. 362-380, 1997.
- WILKINSON, L.; JAHANSHAH, M. Non Declarative (Procedural) Memory **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, Oxford: Elsevier, 2nd ed., p. 844-850, 2015.