

# Análise da relação entre curva de aprendizagem e resposta fisiológica de um piloto

Raphael Gomes Cortes e Emília Villani

Engenharia Aeronáutica e Mecânica (PG/EAM) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

**Resumo** — Ao longo da história da aviação, fatores humanos têm sido apontados como causa principal ou secundária de diversos acidentes. A compreensão de como o ser humano percebe, compreende e reage a situações diversas é um ponto chave para garantia da segurança de voo. Nesse contexto, o presente trabalho analisa o uso de sensores fisiológicos para monitoramento do estado do piloto durante um experimento realizado no simulador de voo SIVOR para observação da curva de aprendizagem na execução da tarefa de recuperação de atitudes anormais. Visando avaliar uma eventual influência do movimento do simulador na resposta fisiológica do piloto, algumas manobras foram realizadas com movimento e outras sem movimento.

## I. INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre fatores humanos na aviação é quase tão antiga quanto a própria aviação, em 1917 Gemelli apresentou um dos primeiros trabalhos sobre o uso de medidas fisiológicas (pressão arterial, respiração e pulsação) para estimar o estresse do piloto em voo [1]. Mais recentemente, alguns trabalhos têm se dedicado a avaliar o uso de sensores fisiológicos para possibilitar aprimoramento do treinamento [3].

Nesse contexto, este trabalho busca contribuir para essa área de pesquisa por meio do uso de sensores fisiológicos de resposta galvânica da pele (*Galvanic Skin Response* - GSR), eletrocardiograma (ECG) e respiração (RESP) como ferramentas para estimar a carga de mental percebida pelo piloto na recuperação do aeronave de uma atitude anormal, em simulador de voo. Foram realizadas quatro repetições da manobra com objetivo de observar a relação entre a curva de aprendizagem e a resposta fisiológica do piloto, durante a execução das tarefas em simulador com e sem movimento.

## II. REVISÃO LITERÁRIA

### A. Efeito da curva de aprendizagem

O efeito da aprendizagem ocorre com a repetição de uma tarefa, com o humano atingindo o nível de proficiência, executando com menos erros e com a redução da atenção dada aos procedimentos.

Neste processo, o indivíduo memoriza o mecanismo da tarefa e na repetição em ocasiões similares passa a processá-la de forma automática em conjunto com outras atividades [3]. Neste sentido, conforme proposto por WAARD [4], em termos fisiológicos, o efeito da aprendizagem (região A2 da Fig.1) leva a uma menor carga mental na execução de uma tarefa.

### B. Sensor de Resposta galvânica da pele (GSR)

O GSR mede a variação da impedância da pele (sudorese) a um estímulo de ativação emocional, conforme Fig.2, onde  $GSR_{Base}$  é a medição segundos antes da subida do valor de  $GSR_{evento}$  e que engloba a latência de resposta do corpo e  $máx(GSR_{evento})$  é o valor máximo da resposta ao estímulo. Para permitir a comparação dos valores de GSR em diferentes condições foi utilizada a correção *Range-Corrected Scores* [5], conforme (1).

$$GSR(\%) = 100 \times \frac{GSR_{evento} - GSR_{Base}}{máx(GSR_{evento}) - GSR_{Base}} \quad (1)$$

### C. Sensor de Eletrocardiograma (ECG)

O ECG identifica um segmento característico, o chamado complexo QRS, conforme apresentado na Fig. 3 e, a partir dele, para calcular o batimento cardíaco mede-se o intervalo RR pela diferença de tempo entre picos R sucessivos. A análise em frequência do ECG é realizada pela estimação da densidade espectral de potência (*Power Spectral Density* - PSD) realizada pelos métodos de *Fast Fourier Transform*, Welch, Burg e Lomb-Scargle [6]. Para fins de análise, a PSD é dividida em bandas de baixa frequência de 0,04–0,15 Hz (*Low Frequency* - LF) e altas de 0,15–0,4 Hz (*High Frequency* - HF) [6], sendo utilizada a razão LF/HF para as análises do balanço do espectro de frequência.

O acompanhamento da taxa de respiração de um indivíduo é uma importante medida do estado psicológico. A medição é feita por sensores que medem a variação na amplitude da respiração.

O espectro da respiração humana se concentra na faixa de 0,1 a 1 Hz, sendo os valores normalmente verificados apresentados em condições normais são na faixa de 0,2 a 0,3 Hz (12 a 18 bpm) [7].

## III. METODOLOGIA

### A. Experimento

No experimento, o piloto aguardava de olhos fechados até que a aeronave fosse posicionada em uma condição de arfagem, em seguida, o piloto era alertado e abria os olhos e tinha como tarefa retornar o controle da aeronave para a condição nivelada no menor tempo possível. Os pontos de teste foram realizados de forma sequencial, sendo inicialmente medido o estado basal do piloto antes do voo (*Baseline*), em seguida pontos com voo no simulador sem movimento e na sequência em voo com movimento.

Para a análise do desempenho do piloto na tarefa e comparação com os resultados dos sensores fisiológicos, introduz-se a variável *performance* como o inverso do tempo de recuperação da atitude anormal, conforme (2) e a normalização para as variáveis medidas dos sensores fisiológicos conforme (3).

$$Performance = \frac{1}{tempo \ de \ recuperação} \quad (2), \quad Valor_{normalizado}(\%) = 100 \times \frac{Valor - Valor_{mínimo}}{Valor_{máximo} - Valor_{mínimo}} \quad (3)$$

### B. Aparato Experimental

O voo foi realizado no Simulador de Voo com Plataforma Robótica de Movimento (SIVOR) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) (Fig. 4). Os sensores fisiológicos CAPTIV GSR, RESP e ECG, ilustrados na Fig. 5, foram utilizados no experimento.

### C. Análise de dados

A análise dos dados foi realizada no MATLAB 2020b, a partir dos dados obtidos do *software* de captura dos sensores e os dados de voo obtidos do arquivo Log de dados gerado pelo SIVOR.

O trecho do sinal de GSR utilizado para a análise foi de intervalo até 1 min após o tempo da ocorrência do estímulo.

Os dados de ECG foram analisados utilizando o *PhysioNet Cardiovascular Signal Toolbox* [8]

A análise em frequência de RESP foi realizada pelo método de Burg, devido ao fato de realçar os picos do sinal da PSD, facilitando a visualização da frequência dominante.

## IV. DISCUSSÃO

As tarefas do experimento foram executadas de forma sequencial, sendo obtido os tempos de recuperação decrescentes, conforme indicado na Tabela I.

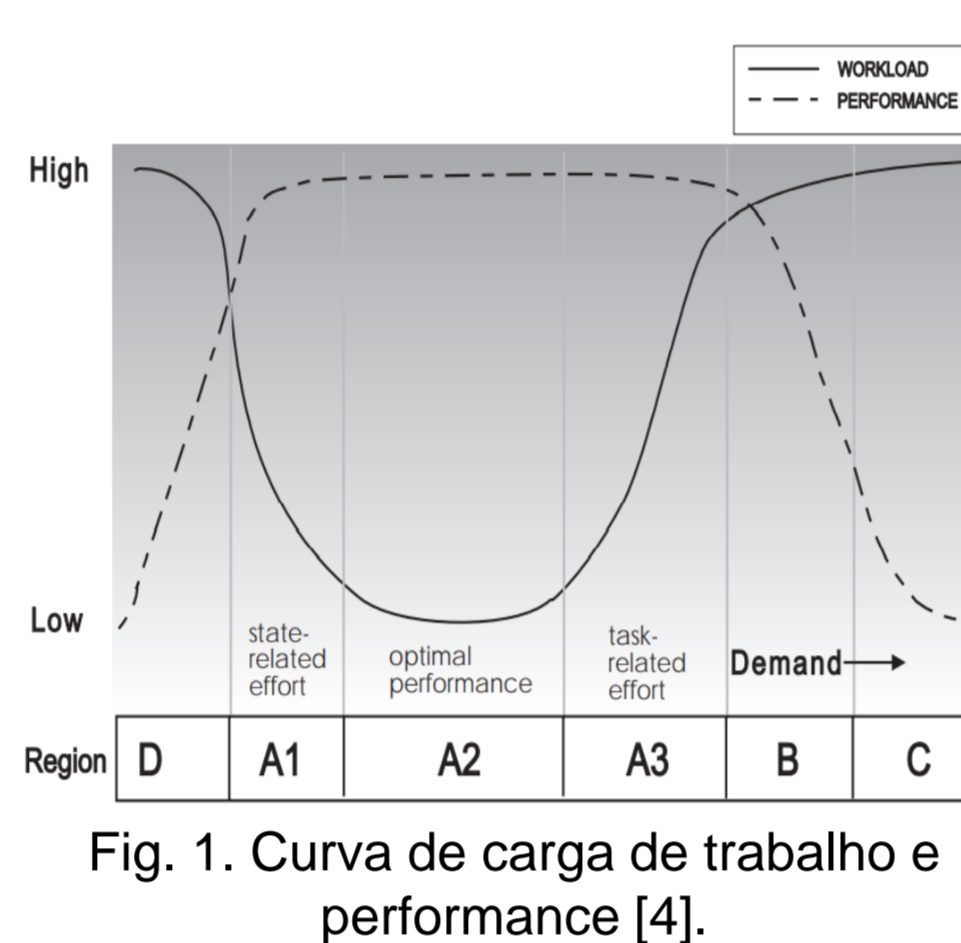


Fig. 1. Curva de carga de trabalho e performance [4].

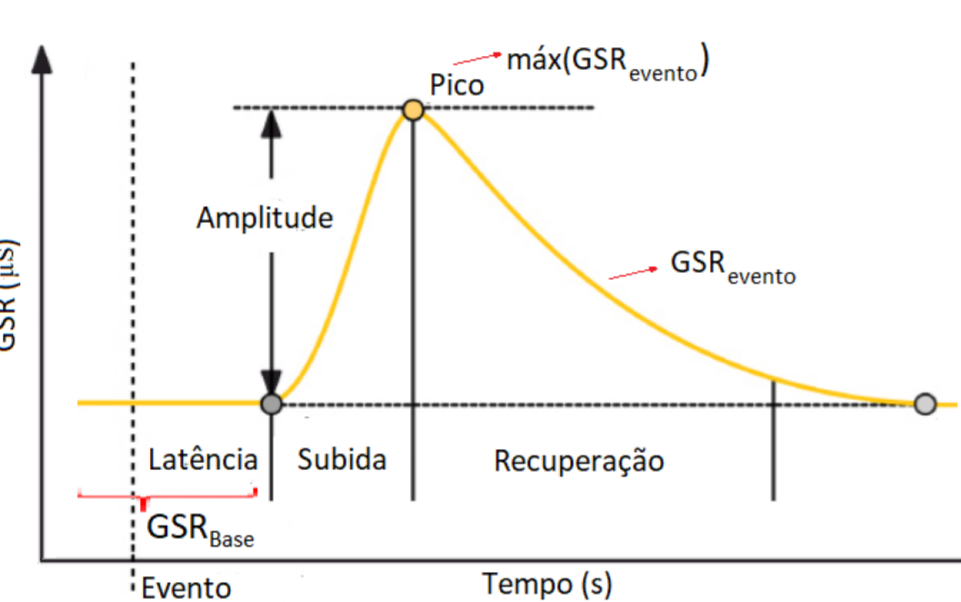


Fig. 2. Sinal de GSR com a ocorrência de um evento de estímulo

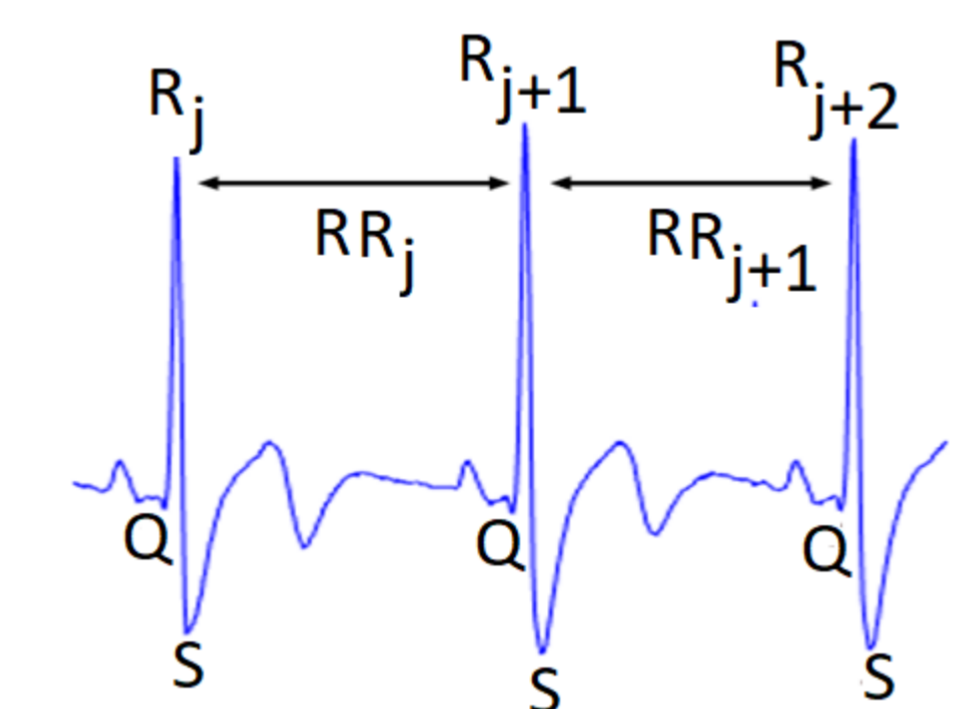


Fig. 3. Sinal de ECG

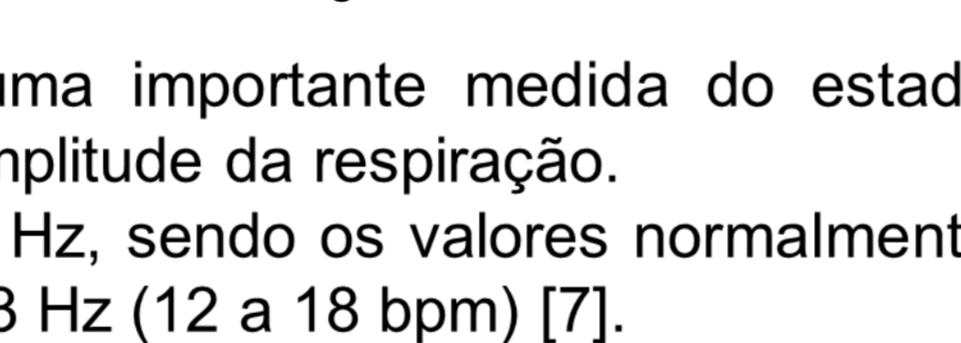


Fig. 4. SIVOR

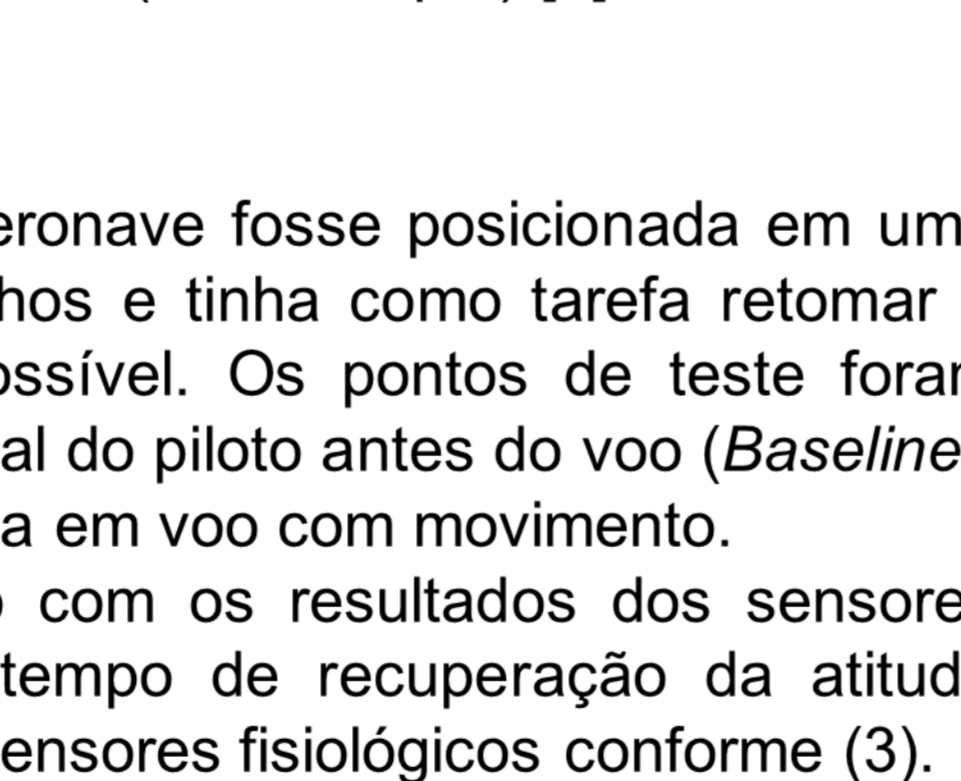


Fig. 5. Sensores fisiológicos

Na Fig. 6, verifica-se que a evolução da frequência respiratória decresce a partir do ponto 2 para próximo ao valor basal no ponto 4. Assim, ocorreu uma redução da ansiedade na tarefa.

Na análise do sensor GSR (Fig. 6), verifica-se um comportamento de redução significativa a partir do ponto 2. Uma redução do valor capturado pelo GSR está relacionada a um menor nível de carga mental ou estresse.

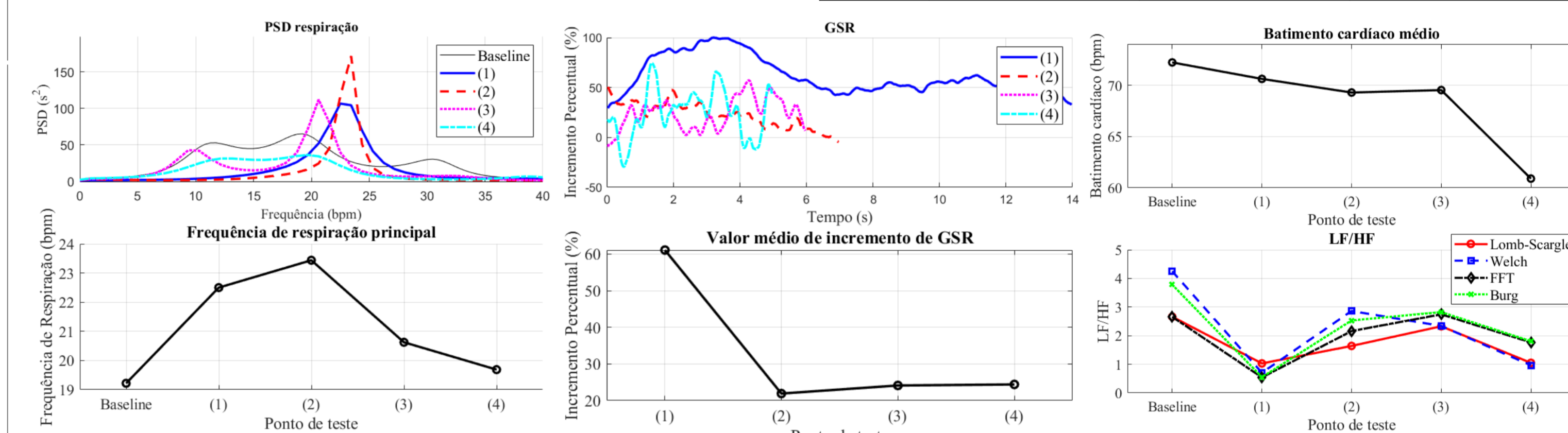


Fig. 6. Resultados obtidos de RESP, GSR e ECG.

Com relação ao sensor de ECG (Fig. 6) pode ser constatado uma redução do batimento cardíaco significativa apenas no ponto 4 do voo com movimento. No domínio da frequência, a uma queda da razão LF/HF, no ponto 4 para valores inferiores ao início do ensaio. A queda de batimento cardíaco e de LF/HF significativa do ponto 4 reflete queda da carga mental do piloto no fim do voo.

A dificuldade de recuperação da aeronave era similar entre os pontos de teste. Assim poderia ser esperado respostas fisiológicas similares, tratando o tipo de ambiente simulado com e sem movimento como bloco, o que não é observado na Tabela II. Com as respostas não é possível afirmar se há diferença entre a resposta fisiológica com movimento e sem movimento.

Na Fig. 7 é apresentado a resposta normalizada de RESP, ECG e GSR, o desempenho do piloto na tarefa e a resposta fisiológica normalizada geral dos sensores, que foi obtida da normalização da soma das respostas dos sensores. Desta maneira, observa-se que com o incremento da performance ocorreu um decréscimo dos valores indicativos da carga mental ou estresse.

Com a semelhança da Fig. 7 com o modelo proposto por WAARD[2], verifica-se que o efeito de aprendizado foi um fator significativo no experimento realizado, com a ocorrência da redução dos indicativos de ansiedade e estresse e melhoria do desempenho a cada execução do teste.

O efeito da aprendizagem pode ser explicado devido o piloto ter entendido a mecânica do exercício com a repetição e o processo se automatizou, ou seja, redução da carga mental e redução do tempo de execução.

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o uso de sensores fisiológicos para estimar a carga de trabalho mental percebida pelo piloto durante a manobra de recuperação da aeronave de atitudes críticas. A partir da repetição da manobra, foi possível observar a evolução da curva de aprendizagem do piloto e relaciona-la à sua resposta fisiológica, coletada por sensores fisiológico. Entre os resultados obtidos, destaca-se que o último ponto do ensaio apresentou uma resposta de redução significativa nos valores coletados pelos sensores de GSR, RESP e ECG, indicando uma queda significativa da carga de mental na execução da tarefa.

Apesar da tarefa não ser idêntica nos pontos de teste, pois o piloto não sabia qual era a condição que deveria recuperar a aeronave, observou-se que a dinâmica do exercício passou a ser compreendida e a mecânica memorizada. Com isto, entende-se que o efeito de aprendizagem reduziu a ansiedade do exercício, reduzindo os níveis medidos de carga mental. O efeito da aprendizagem foi, portanto, significativo.

Além disso, observa-se que não foi possível verificar se há diferença na resposta fisiológica no em simulador voo em simulador com e sem movimento.

## REFERÊNCIAS

- ROSCOE, A. H. Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological Psychology*, vol. 34, pp. 259-287, 1992. DOI: 10.1016/0301-0511(92)90018-p.
- GOSPODINOV, M.; GOSPODINOV, E.; GEORGIEVA, G. Chapter 7 - Mathematical methods of ECG data analysis. In *Advances in ubiquitous sensing applications for healthcare, Healthcare Data Analytics and Management*, Academic Press, 2019, p. 177-209, ISBN 9780128153680. p.181-187
- VEGA, N. Factors Affecting Simulator-training Effectiveness. University of Yvâkylä. 2013.
- WAARD, D. The Measurement of Drivers' Mental Workload. University of Groningen. 1996.
- BRAITHWAITE, J.; WATSON, D. Issues Surrounding the Normalization and Standardisation of Skin Conductance Responses (SCRs) - Technical Research Note. Selective Attention & Awareness Laboratory (SAAL), Behavioural Brain Sciences Centre, School of Psychology, University of Birmingham. 2015.
- VARON, C; MORALES, J.; LÁZARO, J. et al. A comparative study of ECG-derived respiration in ambulatory monitoring using the single-lead ECG. *Scientific Reports*. 2020.
- VEST, A.; QIAO, L.; CHENGYU, L.; et al. Benchmarking heart rate variability toolboxes, *Journal of Electrocardiology*. Volume 50, Issue 6, 2017, Pages 744-747, ISSN 0022-0736.