

# Identificação Precoce de Fadiga em Atletas por Reconhecimento de Padrões em Movimentos Oculares e Variabilidade da Frequência Cardíaca

Diego Schmaedech  
Laboratório de Educação Cerebral  
UFSC, Florianópolis, Brasil  
schmaedech@gmail.com

Prof. Dr. Emílio Takase  
Laboratório de Educação Cerebral  
UFSC, Florianópolis, Brasil  
takase@educacaocerebral.com

Joana Bastos  
Laboratório de Educação Cerebral  
UFSC, Florianópolis, Brasil  
djoubm@gmail.com

**Resumo**—Na maioria dos esportes a falta de instrumentos para identificar a fadiga faz com que muitos técnicos e atletas não percebam o excesso de treinamento e acabem vivenciando a chamada Síndrome do Excesso de Treinamento (SET), que causa danos físicos e mentais, incluindo o abandono do esporte pelo atleta. O objetivo deste trabalho é desenvolver e validar um protocolo para identificação precoce da fadiga em atletas utilizando instrumentos de medição de variáveis psicofisiológicas de baixo custo e métodos de reconhecimento de padrões aplicado ao conjuntos de dados multivariado das métricas extraídas de Movimentos Oculares (MO) e Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC). Realizando, dessa forma, uma análise da fusão dos dados de diferentes fontes.

**Keywords**—psicofisiologia, fadiga, reconhecimento de padrões;

## I. INTRODUÇÃO

A fadiga é um processo fisiológico que pode afetar o Sistema Nervoso Central (SNC) e desencadear alterações de estados como humor e sono [1]. O SNC ainda controla o Sistema Nervoso Autônomo (SNA), que é responsável por regular os recursos fisiológicos de acordo com as demandas do ambiente. Responder eficientemente em ambiente complexo requer um equilíbrio dinâmico entre os ramos do SNA, o sistema nervoso simpático e o sistema nervoso parassimpático [2].

A VFC é um importante marcador da interação entre os ramos simpáticos e parassimpáticos do SNA e tem sido estudada por ser uma medida não invasiva para identificação da fadiga. Outra medida não invasiva é variação nos movimentos oculares como piscadas e variação no diâmetro da pupila [3] [4].

Neste trabalho, será desenvolvido e validado um software de monitoramento de sinais psicofisiológicos que irá funcionar com dispositivos de baixo custo como webcams convencionais, para aquisição do MO, e frequencímetros cardíacos comerciais (cinta torácica), que são amplamente difundidas no meio esportivo. Este software fará parte de um protocolo para identificação de fadiga em atletas.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Participarão dessa pesquisa atletas de rendimento em diversas modalidades, eles realizarão uma bateria de tarefas

antes e depois do esforço físico. Durante as tarefas cognitivas, terão sua VFC e MO monitorados e analisados.

### A. Participantes

Participarão do estudo 30 atletas de ambos os sexos em cada etapa.

### B. Instrumentos

Na primeira etapa, serão utilizados os instrumentos:

- 1) Bateria de avaliação cognitiva computadorizada CogState: descrita em Luft [5];
- 2) Escala dos Estados de Humor de Brunel (BRUMS): validada também para atletas brasileiros [6];
- 3) Nexus-10: eletrocardiograma utilizado para monitorar a VFC com taxa amostral de 1024 Hz (montagem lead III);
- 4) Eyetracking: equipamento para rastreamento de olhar marca SmartEye versão 5.9 (30 Hz).

Na segunda etapa os dois equipamentos, Nexus-10 e Eyetracking SmartEye, serão substituídos por uma Webcam convencional com taxa de aquisição de 30 Hz e um monitor cardiófrequencímetro Polar RS 800.

### C. Processo de Coleta

As coletas de dados serão realizadas individualmente. A Figura 1 ilustra o processo.

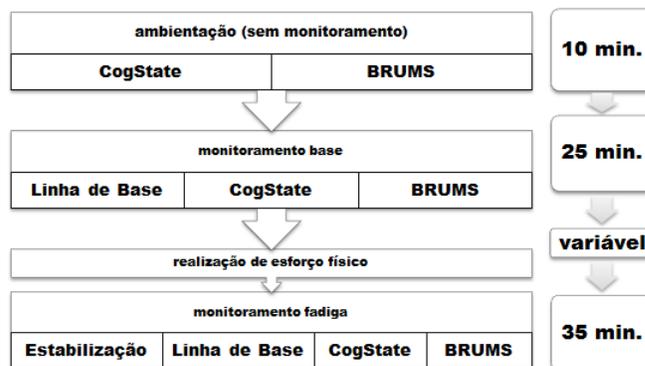


Figura 1. Desenho do processo realizado no protocolo.

#### D. Análise dos Dados

Será realizada a validação concorrente dos dados brutos de aquisição entre os dispositivos, no caso da VFC são os dados de pulso cardíaco e no caso do MO são os dados de distância euclidiana obtida pelo processamento e análise das imagens de vídeo.

Também serão analisadas as métricas extraídas a partir dos dados brutos, como por exemplo a Dimensão Correlacionada (D2) que é uma métrica não-linear da VFC [7] [8] [9] e de piscadas e diâmetro da pupila [10] que são métricas relacionadas ao MO. Para o reconhecimento de padrões serão utilizadas análises multivariadas de variância (MANOVA) [11] e o algoritmo de clustering *Mean Shift* [12] para classificar os níveis de SET com base nas métricas psicofisiológicas, cognitivas e dos estados de humor.

### III. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Até o momento foi desenvolvido o monitor de VFC, construído a partir de um microfone integrado ao frequencímetro e o software de visão computacional que funciona a partir de webcams. Ambos funcionam em PCs convencionais. As duas interfaces de software podem ser vistas na Figura 2.

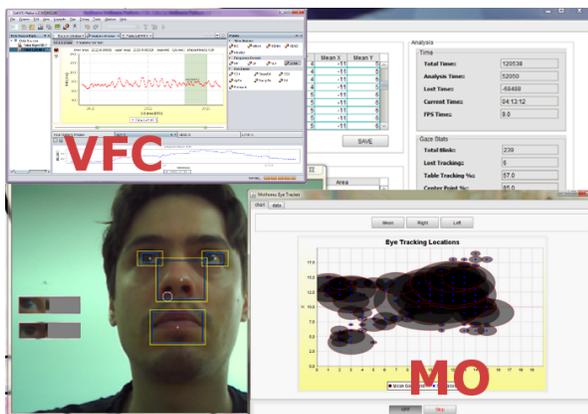


Figura 2. Interface dos módulos desenvolvidos.

O software de visão computacional foi implementado utilizando a biblioteca OpenCV [13] e são usados os algoritmos de detecção de objetos e a técnica de *template matching*, além de uma heurística própria para rastreamento. O software é capaz de detectar pequenas variações na movimentação da íris e também piscadas

### IV. CONCLUSÃO

A análise da VFC e MO é uma poderosa ferramenta para estudos relacionados a fadiga. Uma das contribuições deste trabalho é o desenvolvimento de um protocolo para identificação precoce de fadiga em atletas usando métodos de reconhecimento de padrões em um conjunto de dados multivariados de VFC e MO.

Este trabalho possibilitará a validação de um protocolo para a identificação precoce da fadiga de atletas, o que

auxiliará os técnicos na tomada de decisão para regular as doses de treinamento, beneficiando os atletas que terão maior segurança nos treinos, podendo evitar a SET de forma mais direta.

### REFERÊNCIAS

- [1] R. Budgett, "Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome." *British journal of sports medicine*, vol. 32, pp. 107–10, 1998.
- [2] J. F. Thayer and R. D. Lane, "Claude bernard and the heart and brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration," *Neuroscience e Biobehavioral Reviews*, vol. 33, no. 2, pp. 81–88, 2009.
- [3] Z. Zhu, "Real time and non-intrusive driver fatigue monitoring," *Systems Engineering*, pp. 657–662, 2004.
- [4] H. A. M. Noor and R. Ibrahim, "Image processing using eye-lid blinking and mouth yawning to measure human's fatigue level," in *Proceedings of the 2009 Third Asia International Conference on Modelling and Simulation*. IEEE Computer Society, 2009, pp. 326–331.
- [5] E. . D. D. Luft, Caroline Di Bernardi ;Takase, "Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort," *Biological Psychology*, vol. 82, no. 2, pp. 186–191, 2009.
- [6] I. C. P. d. M. Rohlfs, T. M. Rotta, C. D. B. Luft, A. Andrade, R. J. Krebs, and T. d. Carvalho, "A escala de humor de brunel (brums): instrumento para detecção precoce da síndrome do excesso de treinamento," *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, vol. 14, pp. 176–181, 06 2008.
- [7] ESC and NASPE, "Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology." *Circulation*, vol. 93, pp. 1043–1065, 1996.
- [8] C. Schubert, M. Lambertz, R. Nelesen, W. Bardwell, J.-B. Choi, and J. Dimsdale, "Effects of stress on heart rate complexity: A comparison between short-term and chronic stress," *Biological Psychology*, vol. 80, no. 3, pp. 325–332, 2009.
- [9] J.-P. Niskanen, M. P. Tarvainen, P. O. Ranta-Aho, and P. A. Karjalainen, "Software for advanced hrv analysis." *Comput Methods Programs Biomed*, vol. 76, pp. 73–81, 2004.
- [10] R. a. McKinley, L. K. McIntire, R. Schmidt, D. W. Repperger, and J. a. Caldwell, "Evaluation of eye metrics as a detector of fatigue," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 53, pp. 403–414, 2011.
- [11] R. J. Harris, *A Primer of Multivariate Statistics*, 3rd ed. Lawrence Erlbaum, 2001.
- [12] Y. Cheng, "Mean shift, mode seeking, and clustering," *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell*, vol. 17, no. 8, pp. 790–799, 1995.
- [13] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, 1st ed. O'Reilly Media, 2008.