

ANÁLISE DE ESTRESSE E FADIGA EM BOMBEIROS ATRAVÉS DE EEG

A. Pomer-Escher¹, R. Tello², M. Souza³ e T. Bastos-Filho^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

³Programa de Pós-Graduação em Psicologia

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES

E-mail: alexandre.pomer@hotmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise do nível de estresse e fadiga baseada em sinais de Eletroencefalograma (EEG). Como voluntários desta pesquisa participaram militares do Corpo de Bombeiros de Vitória. A análise de estresse é feita utilizando os eletrodos AF3, AF4, F3 e F4, especificamente situados no córtex frontal e pré-frontal dos voluntários, enquanto que a fadiga foi avaliada utilizando os eletrodos occipitais (O1-O2) e parietais (P7-P8). Os resultados mostram que esta análise pode identificar o aumento do nível de fadiga mental e diferenciar estímulos estressantes, sugerindo que pode ser utilizada para auxiliar no treinamento de profissionais da área de urgência e emergência, assim como ser utilizada para a análise prévia a experimentos que avaliam a capacidade cognitiva, física ou emocional dos voluntários.

Palavras-chave: Estresse, Fadiga, EEG, Emoções.

Abstract: This paper presents an analysis to measure the level of stress and fatigue through EEG signals. The volunteers are professional of fire brigade from Vitoria (Brazil). The analysis of stress was performed using the FT3 and FT4, F3 and F4 electrodes, specifically located on the frontal and prefrontal cortex. The fatigue assessment used the electrodes O1, O2, P7 and P8. Preliminary results are promising and indicate that this analysis can be used to assist professionals in emergency care training, as well as, can be used for previous analysis to experiments that evaluate the cognitive, physical or emotional capacity of volunteers.

Keywords: Stress, Fatigue, EEG, Emotion.

Introdução

Independente da idade, gênero ou etnia, o estresse pode afetar a todos. Historicamente o estresse tem sido definido como uma alteração do estado de calma para um estado de maior excitação, com a finalidade de preservar a integridade do organismo [1]. O organismo humano utiliza o estresse como uma resposta frente a três situações distintas, podendo ser classificado de acordo com a via que o gera: desgaste físico, mental ou emocional [1], e provoca alteração do rendimento físico e cognitivo, independentemente da situação [2]. O organismo tende a reagir à percepção de um evento estressor com uma reação de adaptação, ou seja, o organismo se adapta à nova situação para enfrentá-la,

gerando uma momentânea elevação da resistência do organismo. Porém quando existe alguma limitação na capacidade de adaptação frente ao estressor, tem-se como resultado desta limitação a fadiga [1] [3] [4].

Não é fácil realizar a avaliação de estresse e fadiga. Psicólogos utilizam diferentes questionários para este fim, porém há fatores que dificultam esta avaliação, entre eles, o problema em definir e diagnosticar o sintoma; os profissionais responsáveis pela avaliação tendem a considerar mais um aspecto do que outro, assim como a própria subjetividade dos sintomas [5, 6].

A classificação do estresse pode ser realizada através de um modelo bidimensional de emoções (Figura 1) proposto por Russell [2], onde baixa uma valência e alta *arousal* (excitação) representariam estados de estresse.

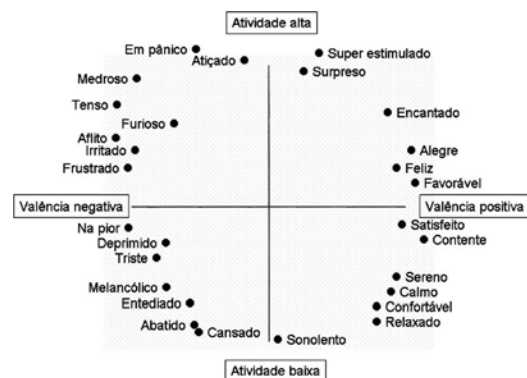


Figura 1: Modelo circumplexo de Russell (1980).

Na identificação do estresse, uma medida bastante utilizada é a condutância da pele, a qual basicamente mede a condutividade da mesma, que aumenta quando experimenta-se situações de estresse. A frequência cardíaca também é uma variável que se correlaciona com as reações defensivas, agradabilidade de um estímulo, e com as emoções básicas [7]. Segundo [8], também podem ser observadas alterações significativas de temperatura periférica em resposta ao estresse, o qual apresenta variação de 15°C a 37°C, sendo que a diminuição desta está relacionada com o aumento de estresse. Existe ainda um marcador bioquímico, que é o cortisol, o qual pode ser dosado de forma não invasiva através da saliva [9]. A Figura 1 apresenta como são dispostos os sensores que podem ser utilizados para estimar o nível de estresse.

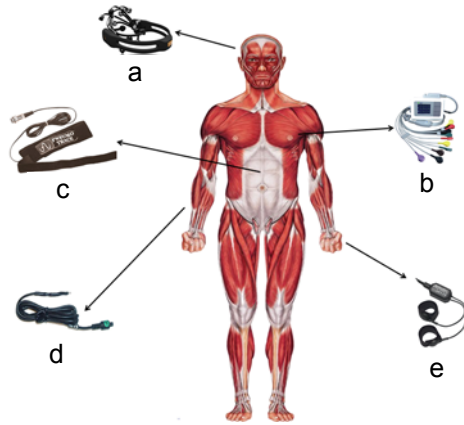


Figura 2: Dispositivos para a estimacão de estresse: ondas cerebrais (a), frequência cardíaca (b), frequência respiratória (c), temperatura periférica (d) e condutância da pele (e). Fonte: Adaptado de [4].

Até o momento não se conhecem marcadores biológicos específicos de fadiga. Deste modo, a principal forma de avaliação ainda é baseada na aplicação de questionários por psicólogos. Atualmente existem mais de 20 instrumentos exclusivos para avaliação de fadiga, dos quais sete estão validados no Brasil [5]. Em estudos mais recentes relacionados à identificação de estresse, assim como emoções básicas e fadiga, tem-se consistentemente utilizado a análise de sinais cerebrais através de eletroencefalografia (EEG).

Classicamente, o EEG é o sinal mais utilizado para avaliar a função cerebral de forma não invasiva, pois trata-se de uma técnica que mede diretamente a atividade elétrica cerebral. Além de possuir menor custo e possibilidade do uso de aparelhos portáteis, o EEG oferece excelente resolução temporal, superior ao PET (do inglês *Positron Emission Tomography*) ou fMRI (do inglês *functional Magnetic Resonance Imaging*) [1]. Estas características permitem estudos sobre a dinâmica dos sinais cerebrais que ocorrem em escalas de tempo típicos da ordem de dezenas de milissegundos [1].

O EEG consiste no conjunto de medições das diferenças de potencial elétrico entre pares de eletrodos. Os eletrodos podem ser diretamente colocados em locais selecionados, acima da região cortical de interesse, ou montados em um gorro para fixação rápida [7, 3]. O EEG não mede a atividade de um único neurônio, mas sim reflete a interação de milhões de neurônios do cérebro, trata-se de um sinal rítmico, o qual pode ser dividido em bandas de frequência como: delta (δ), theta (θ), alpha (α) e beta (β) [1].

Durante a última década, uma grande variedade de técnicas de análise tem sido repetidamente aplicada ao EEG em condições fisiológicas e patológicas [10] [11]. Evidências sugerem que a atividade na banda alfa (tipicamente 8-13 Hz) pode estar inversamente relacionada com o processamento cortical subjacente, uma vez que a diminuição da potência nessa banda tende a ser observada quando sistemas corticais

subjacentes envolvem-se em processamento ativo [12] [9]. A análise de diversos estudos reforça o consenso de que uma ativação relativa da região frontal esquerda do cérebro está associada a tendências características de abordagem geral (ou sistema motivacional de ativação comportamental), enquanto que uma maior atividade relativa na região direita está associada a características em direção a um sistema de retirada [12].

Normalmente, a assimetria é expressa através da Equação 1, sendo que E e D referem-se aos eletrodos esquerdo e direito, respectivamente. A mudança de energia na banda alpha do hemisfério esquerdo para o hemisfério direito é decorrente da maior ativação do lado direito [13] [12] [9]. Para relacionar os dados de EEG com o modelo de Russell utiliza-se a assimetria de ondas alpha, sendo o indicador de valência combinado com a relação beta/alpha (Equação 2) para indicar a dimensão de excitação [14].

$$\text{Assimetria} = \frac{(\text{Energia } \alpha E) - (\text{Energia } \alpha D)}{(\text{Energia } \alpha E) + (\text{Energia } \alpha D)} \quad (1)$$

$$\text{Relação } (\beta/\alpha) = \frac{\text{Energia } \beta}{\text{Energia } \alpha} \quad (2)$$

Quanto à identificação de fadiga, recentes estudos [15] [16] mostram que o aumento da fadiga está diretamente relacionado com o aumento da energia das ondas α e também da relação $(\theta+\alpha)/\beta$, assim como inversamente relacionado com θ/α . Além destes parâmetros pode-se utilizar as relações de energia relativa entre alpha, beta e theta [17].

Materiais e métodos

Voluntários – Participam desta pesquisa 40 bombeiros militares do Estado do Espírito Santo, Critérios de inclusão: ser bombeiro militar em função operacional ou administrativa. Excluem-se os bombeiros: fumantes; canhotos; com visão anormal não corrigida; usuários de medicamentos contendo glicocorticoides e anti-histamínicos ou submetidos à anestesia geral nos 12 meses anteriores. Os experimentos foram conduzidos de acordo com o exemplificado na Figura 3.

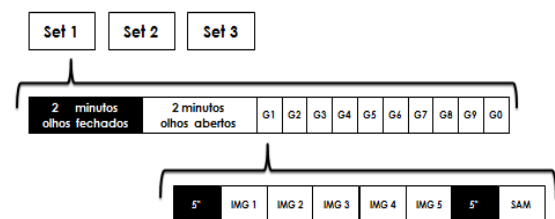


Figura 3: Protocolo experimental, onde cada figura (IMG) é exposta por 3,5 segundos. Ao final de cada grupo o voluntário é solicitado a preencher o questionário SAM (*Self Assessment Scale*).

Estímulos – Para o estudo do estresse é utilizada a exposição de imagens. Aos participantes é apresentada uma série de imagens pertencente ao IAPS

(*International Affective Picture System*) [18]. Os grupos são classificados como negativo, positivo e calmo, de acordo com os valores médios de valência e *arousal*. A seleção dos subconjuntos correspondentes aos estados emocionais de interesse foi instrumentada via limiares empíricos sobre valência e *arousal*, de acordo com a regra apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios de seleção dos grupos de estímulos.

| Grupo | Valencia | Arousal |
|----------|----------|---------|
| Positivo | 6,8 | > 5 |
| Negativo | < 3 | > 5 |
| Calmo | 4 a 6 | < 4 |

Aquisição dos sinais EEG – Os dados de EEG foram obtidos através do aparelho sem fio Emotiv Epoc, o qual possui 14 canais, sendo os eletrodos posicionados nas posições AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 e AF4, de acordo com o sistema 10-20, além de duas referências (CMS/DRL) nas posições P3 e P4. A medida da faixa dinâmica é 8400 μ V, e são registradas 128 amostras por segundo (2048 Hz interno). A banda de passagem dos sinais vai de 0,2 a 45Hz, e é utilizado um filtro digital *notch* de 60 Hz. O dispositivo e posicionamento dos eletrodos pode ser observado na Figura 4.



Figura 4: Posicionamento dos eletrodos no escalpo (esquerda). Aparelho Emotiv Epoc Headset (direita).

Análise – Para o estudo de estresse analisou-se a assimetria frontal da banda alpha e a relação beta/alpha dos sinais de EEG para cada imagem. Enquanto que para o estudo de fadiga, foram utilizados os dados de EEG dos 10 segundos iniciais e 10 segundos finais (mesmo sinal EEG utilizado para estimar o estresse) de cada voluntário para calcular os parâmetros supracitados. A Tabela 2 resume os parâmetros utilizados nesse estudo.

Tabela 2: Parâmetros de análise de estresse e fadiga

| Parâmetro | Eletrodos | Avaliação |
|-------------------------|-----------------|-----------|
| Assimetria α | F3-F4, AF3- AF4 | Estresse |
| β/α | F4, AF4 | |
| alpha (α) | O1, O2, P7, P8 | Fadiga |
| $(\theta+\alpha)/\beta$ | O1, O2, P7, P8 | |
| θ/α | O1, O2, P7, P8 | |

Aspectos Éticos da Pesquisa – Este trabalho encontra-se em consonância com os aspectos éticos inerentes à pesquisa com seres humanos, estabelecidos pelo Conselho Nacional de Saúde, possuindo aprovação do projeto com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE: 26225513.6.0000.5060). Os experimentos foram realizados após os voluntários assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Resultados

A seguir são apresentados os resultados parciais desta pesquisa, onde participaram cinco bombeiros e cinco mestrandos com idades entre 23 e 48 anos. Os dados foram coletados no mês de Abril de 2014.

Os sinais de EEG foram processados após rejeição de artefatos por inspeção visual de janelas com 1s. Os resultados para auto-avaliação de valência e *arousal*, e o cálculo dos parâmetros de estresse baseados nas Equações 1 e 2 são apresentados na Figura 5.

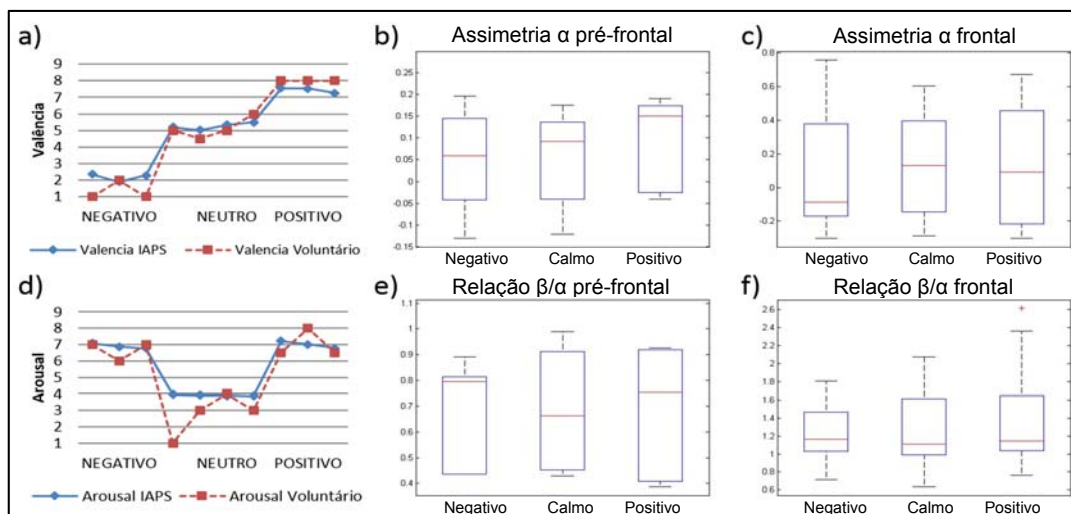


Figura 5: Comparação da auto-avaliação dos voluntários com o IAPS (a, d). Resultados dos sinais de EEG apresentando assimetria da frequência alpha pré-frontal (b) e frontal (c); valores da razão beta/alpha pré-frontal (e); e frontal (f).

A análise de fadiga considerou apenas os 10 segundos iniciais e finais para cada voluntário, e o resultado é mostrado na Figura 6.

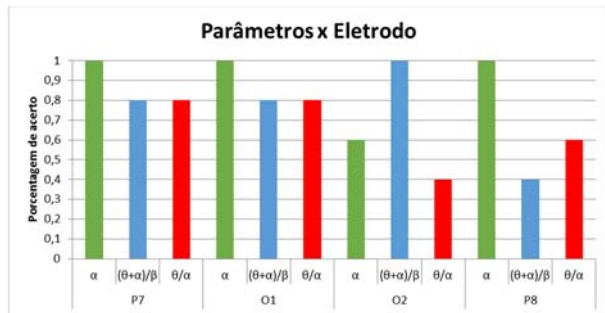


Figura 6: Percentagem de acerto para os parâmetros de fadiga medidos ao início e final dos testes.

Discussão

Os dados da auto-avaliação estão de acordo com os encontrados na classificação do IAPS, tanto para valência (Figura 5.a) quanto para *arousal* (Figura 5.d), são similares aos resultados encontrados por [7] [18], mostrando que os indivíduos foram emocionalmente afetados frente aos estímulos por imagens. Análises dos sinais de EEG da região pré-frontal mostram relação com o modelo bidimensional, onde os estímulos negativos apresentaram baixa valência e alta *arousal*, enquanto que os calmos apresentaram média valência e baixa *arousal*, sendo que os estímulos positivos tiveram alta valência e alta *arousal* (Figura 5.b e 5.c). As análises dos sinais da região frontal mostraram-se semelhantes à pré-frontal, apenas os estímulos calmos mostraram-se com valência alta (Figura 5.e e 5.f). Este resultado está de acordo com [1] [9] [12] [13] [19]. Os valores de média e desvio padrão da região pré-frontal foram menores do que os apresentados na região frontal, tanto para a assimetria quanto para a razão beta/alpha.

Na comparação dos parâmetros de fadiga (Figura 6), houve um aumento da energia espectral de α e também da relação $(\theta+\alpha)/\beta$, enquanto que na relação θ/α ocorreu a diminuição (com taxa média de correlação de 90%, 75% e 65%, respectivamente). Este resultado é semelhante ao de [15] [16].

Conclusão

Com este estudo, foram obtidos parâmetros que possibilitaram avaliar o grau de estresse em que são afetados os profissionais que trabalham com situações de urgência e emergência, como é o caso dos bombeiros, e que são importantes para auxiliar o treinamento e capacitação destes profissionais em situações dessa natureza. Do mesmo modo espera-se que esta pesquisa, além de avaliar o nível de estresse, possa também avaliar a fadiga dos bombeiros, através da análise de atividade mental, de modo a se ter parâmetros importantes para auxiliar as pesquisas nesta área do conhecimento.

Referências

- [1] S. A. Hosseini e M. A. Khalilzadeh, "Emotional stress recognition system using EEG and psychophysiological signals: Using new labelling process of EEG signals in emotional stress state," IEEE, 2010.
- [2] J. A. Russell, "A Circumplex Model of Affect," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, n. 6, pp. 1161-1178, 1980.
- [3] M. Lewis, J. M. Haviland-Jones e L. F. Barrett, *Handbook of emotions*. 3rd ed., New York: The Guilford Press, 2008.
- [4] A. C. Guyton e J. E. Hall, *Tratado de Fisiologia Médica 12ª Ed.*, Rio de Janeiro: Elsevier (Medicina), 2011.
- [5] Associação Brasileira de Cuidados Paliativos, *Consenso Brasileiro de Fadiga*, p. Suplemento 1, 2010.
- [6] D. D. C. d. F. Mota e C. A. d. M. Pimenta, "Self-report instruments for fatigue assessment: a systematic review," *Res Theory Nurs Pract*, pp. 49-78, 2006.
- [7] G. Chanel, K. Ansari-Asl e T. Pun, "Valence-arousal evaluation using physiological signals," *IEEE International Conference*, pp. 2662-2667, 7-10 Oct 2007.
- [8] V. Shusterman e O. Barnea, "Sympathetic nervous system activity in stress and biofeedback relaxation," *Engineering in Medicine and Biology Magazine*, IEEE, pp. 52-57, March-April 2005.
- [9] A. M. Brouwer, V. Kallen, M. A. Neerinx, M. Ten Brinke e L. Van der Leer, "EEG alpha asymmetry, heart rate variability and cortisol in response to virtual reality induced stress," *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation*, pp. 27-40, 2011.
- [10] Y. Wang, W. Wang, Y. Liu, D. Wang, B. Liu, Y. Shi e P. Gao, "Feature Extracting of Weak Signal in Real-Time Sleeping EEG with Approximate Entropy and Bispectrum Analysis," *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE)*, pp. 1-4, June 2009.
- [11] S. K. Puthusserypady, N. Kannathal e L. C. Min, "Complex Dynamics of Epileptic EEG," *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 604-607, 1-5 September 2004.
- [12] J. A. Coan e J. J. Allen, "Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion," *Biological Psychology* 67, pp. 7-49, 2004.
- [13] C. Ferreira, A. Deslandes, H. Moraes, M. Cagy, L. F. Basile, R. Piedade e P. Ribeiro, "The relation between EEG prefrontal asymmetry and subjective feelings of mood following 24 hours of sleep deprivation.," *Arquivos de neuropsiquiatria*, pp. 382-7, 2006.
- [14] A. R. Sardà, *Computational Intelligence Techniques for Electro-Physiological Data Analysis*, Barcelona: Universitat de Barcelona, 2012.
- [15] T. Cao, F. Wan, J. N. Cruz e Y. Hu, "Objective evaluation of fatigue by EEG spectral analysis in steady-state visual evoked potential-based brain-computer interfaces," *BioMedical Engineering OnLine*, pp. 13-28, 2014.
- [16] B. Japa, S. Lala, P. Fischer e E. Bekiaris, "Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue," *Expert Syst Appl*, pp. 2352-2359, 2009.
- [17] S. Y. Cheng e H.-T. Hsu, "Mental Fatigue Measurement Using EEG," *Risk Management Trends*, 2011.
- [18] P. J. Lang, M. M. Bradley e B. N. Cuthbert, "International Affective Picture System (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual," *Technical Report A-8*, 2008.
- [19] E. Verona, N. Sadeh e J. J. Curtin, "Stress-Induced Asymmetric Frontal Brain Activity and Aggression Risk," *Journal of Abnormal Psychology*, vol. 118, p. 131-145, 2009.