



## ESTUDO DA COERÊNCIA ENTRE SINAIS ELETROENCEFALOGRÁFICOS (EEG) MEDIDOS EM VOLUNTÁRIOS SAUDÁVEIS EM REPOUSO E SOB ESTÍMULO COGNITIVO

Letícia Batista Silva\*<sup>1</sup>, Camila Davi Ramos<sup>1</sup>, João Batista Destro Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

**Resumo** - O objetivo deste estudo é, a partir da utilização de sinais eletroencefalográficos registrados em voluntários neurologicamente saudáveis e em diferentes situações como o estado do repouso e a leitura de palavras, verificar por meio da potência espectral, o grau de correlação linear entre esses voluntários, quando agrupados nestas duas situações distintas. A partir da utilização de 20 registros de EEG, coletados em indivíduos saudáveis, cada trecho foi mensurado e submetido ao cálculo da correlação linear gerando diagramas de calor a partir dos índices obtidos. Notou-se que a situação de repouso apresentou nível de correlação entre os voluntários superior à situação de leitura de palavras. Sugere-se a avaliação quantitativa de EEGs em indivíduos neurologicamente saudáveis em demais situações de estímulo cognitivo e com maior quantidade de registros EEG a fim de aumentar a confiabilidade estatística dos presentes resultados.

**Palavras-Chave** - Correlação. Eletroencefalografia. Estímulos Cognitivos.

### STUDY OF COHERENCE BETWEEN ELETROENCEPHALOGRAPHY (EEG) SIGNS MEASURED IN HEALTHY VOLUNTEERS IN REST AND UNDER COGNITIVE STIMULATION

**Abstract** - This paper aims, based on the use of electroencephalographic signals recorded in neurologically healthy volunteers in different situations, such as the state of rest and word reading, verify through the spectral power, the degree of linear correlation between these volunteers, when grouped in these two different situations. From the use of 20 EEG records, collected from healthy individuals, each stretch was measured submitted to the calculation of linear correlation generating heat diagrams from the obtained indices. It was noted that the resting situation showed a higher level of correlation among the volunteers than the word reading

\*leticia.batista@ufu.br

It is suggested that the quantitative assessment of EEGs in neurologically healthy individuals in different situations of cognitive stimulation and increasing the amount of EEG records to lead to greater statistical reliability of the results.

**Keywords** - Correlation. Electroencephalography. Cognitive Stimuli.

### I. INTRODUÇÃO

Conhecer padrões cerebrais é de suma importância para o conhecimento de situações e noções úteis sobre o estado funcional do cérebro humano. As principais ondas cerebrais, diferenciadas por suas diversas bandas de frequência, utilizadas nas análises espectrais, são: Delta (0,5 a 3,5 Hz), Teta (3,5 a 7,5 Hz), Alfa (7,5 a 12,5 Hz), Beta (12,5 a 30 Hz), e os ritmos Gama (30 a 80 Hz) e Supergama (acima de 80 Hz) [1, 2, 3]. Em termos de indivíduos com ausência de patologias neurológicas, percebe-se que as características do sinal EEG mudam de acordo com o desenvolvimento. Espera-se que determinados ritmos ocorram em regiões específicas do escalpo, como por exemplo o ritmo Alfa possuir maior presença na região posterior da cabeça e em maior tensão [4, 5].

Estímulos cognitivos realizados durante o registro da atividade cerebral por meio do EEG podem ser utilizados na avaliação do nível de consciência, como forma de verificar a recuperação do paciente neurologicamente comprometido após serem submetidos a tratamentos clínicos [5], além de verificar as regiões cerebrais mais ativadas durante certas atividades, como a leitura de palavras. Neste caso, estudos constataram que a região do córtex occipito-temporal é ativada em leitores fluentes [6, 7].

Dividir o sinal EEG em diversas janelas ou épocas temporais curtas, onde cada uma dessas janelas possuirá o valor de densidade espectral de potência correspondendo ao tempo em questão analisado é o método que se mostra mais adequado para se empregar, na qual é feita uma análise tempo-frequência [8]. Como uma forma de analisar essa divisão, a correlação linear pode ser utilizada para avaliar o grau de similaridade entre amostras, sendo uma análise descritiva dependente de uma ou mais variáveis, medindo seu grau de similaridade através da variação dos parâmetros de saída [9].

Levando em consideração o fato de que o processo de leitura realiza alterações nas atividades cerebrais detectadas no EEG, como mostrado em [7, 10], o objetivo deste estudo é verificar o grau de correlação existente entre dois estados distintos, sendo eles o processo de leitura de palavras que é um estímulo visual e a situação de repouso de olhos abertos sem a presença de estímulo.

## II. METODOLOGIA

A metodologia foi subdividida em: Base de dados; Pré-processamento; e Processamento do sinal e análise estatística.

### A. Base de dados

Para a análise de sinais EEG de voluntários considerados saudáveis, foram utilizados os dados produzidos por (RAMOS, 2017), na qual foram escolhidos de forma aleatória 20 registros, medidos em voluntários neurologicamente saudáveis, com uma média de idade de  $25.7 \pm 6.79$ , sendo 11 voluntários do sexo masculino. Os registros foram realizados numa frequência de amostragem de 240 Hz, filtro passa alta de 1 Hz e filtro passa baixa de 100 Hz, e foram utilizados 20 eletrodos dedicados ao sinal EEG e 3 utilizados como referência, dispostos conforme o sistema 10-20 de colocação. O parecer emitido pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFU (CEP – UFU) é de número 1.715.960.

Foram registradas durante o EEG as duas situações de análise do presente estudo, sendo elas: o voluntário em estado de repouso por três minutos, sem receber estímulos e de olhos abertos (OA) e a leitura de palavras (LP), na qual o voluntário realizou a leitura silenciosa de 10 palavras apresentadas, a saber: Cachorro, Futebol, Camisa, Novela, Banana, Tomate, Música, Celular, Tecido e Trabalho; com descanso de 5 segundos entre cada palavra. A duração média desta atividade é de cerca de 2 minutos para cada voluntário.

### B. Pré-processamento

A realização do pré-processamento envolveu escolher dez épocas com duração de três segundos cada, para cada evento analisado: olhos abertos (OA) e leitura de palavras (LP), de maneira cronológica, com a ajuda de neurologistas do HCU-UFU. Cada uma dessas épocas escolhidas não apresentou artefatos perceptíveis a olho nu, e foram submetidas à análise de artefatos via software.

Após a escolha das épocas para análise, foi utilizado o quantificador Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP), como definido em [11], de forma que fosse calculada a densidade espectral de potência por meio da transformada de Fourier para cada um dos ritmos, de Delta a Supergama, resultando, portanto, em dez valores de PCP para cada sinal EEG analisado por evento e por ritmo cerebral.

### C. Processamento do Sinal e análise estatística

A análise da correlação foi aplicada considerando os valores de PCP obtidos por evento e por ritmo cerebral. Assim, tais valores foram agrupados de modo a se obter uma matriz de dados composta por: 20 linhas que correspondem aos eletrodos de captação do sinal EEG; e 20 colunas, cada qual representando o valor médio de PCP por voluntário naquele ritmo e pra determinado evento.

Os parâmetros de saída do cálculo de correlação, chamados de coeficientes de correlação, variam de -1 a 1, sendo que o valor -1 representa correlação direta e negativa, o valor 1 representa correlação direta e positiva, e o valor 0 representa ausência de correlação [12]. Tal metodologia gera, portanto, uma matriz de correlação composta por 20 linhas e colunas, sendo o índice  $a_{ij}$  o valor do coeficiente de correlação correspondente àqueles voluntários, “i” e “j”.

Diante disso, foram geradas imagens dessas matrizes de correlação conforme o padrão mostrado em [13]. Nessas imagens aplicou-se a escala de cores na qual os tons mais escuros de verde implicam correlações próximas à 1, e tons mais claros, tendendo à cor branca, implicam correlações negativas.

De forma a validar o nível de correlação obtido, foi realizado o teste de hipóteses no qual considerou-se como hipótese nula a condição da ausência de correlação significativa com 95% de confiança. Portanto, além da matriz de correlação, gerou-se ainda a matriz de valores-p. A quantidade de índices de valor p significativos para cada evento e ritmo cerebral foi contabilizada e representada por meio de valores percentuais. Ao final, foi realizado o cálculo para obter a diferença entre as proporções significativas de correlação entre os eventos considerados no presente estudo.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As matrizes de correlação obtidas para o evento OA estão mostradas na Figura 1, ritmos Delta (a), Teta (b) e Alfa (c). Já na Figura 2 as matrizes apresentadas são referentes ao evento LP, mesma disposição da Figura 1. Nessas imagens quanto maior o índice de correlação, mais escuro é o tom de verde. Pode-se observar que os voluntários tem maiores correlações entre si quando no evento OA, e essa correlação é claramente menor quando são submetidos ao estímulo cognitivo da leitura de palavras.

A fim de verificar essa constatação feita por meio das Figuras 1 e 2 em relação à quantidade de correlações significativas presentes em cada grupo e em cada ritmo, a quantificação das correlações significativas foi realizada e na Tabela 1 estão resumidas tais quantidades de valores-p significativos (valor-p < 0,05). Na situação OA a correlação entre os voluntários foi maior que para o evento LP. Contudo pode-se observar ainda que essa variação é maior para os ritmos Delta, Teta e Alfa.

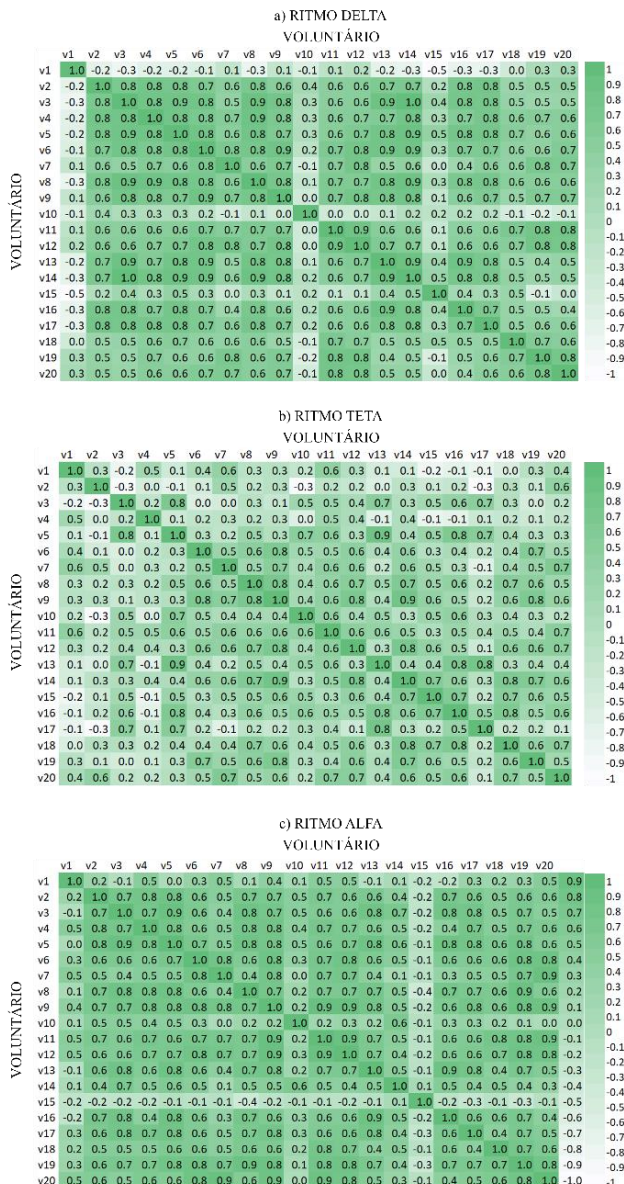
Tabela 1: Índices Significativos de Correlação para as situações Olhos abertos em repouso (OA) e leitura de palavras (LP)

Situação	Delta	Teta	Alfa	Beta	Gama	Supergama
OA	69%	45%	67%	44%	32%	34%
LP	25%	19%	35%	32%	23%	21%
Diferença:	44%	26%	32%	12%	9%	13%

Tais constatações podem ser também observadas a partir da diferença das proporções de correlação obtidas, na qual as maiores diferenças são observadas nos ritmos Delta, Teta e Alfa, com Delta apresentando a maior das diferenças detectadas (44%). Para os ritmos Beta, Gama e Supergama, a diferença apresentada se mostrou mais baixa, variando entre 9% e 13%.

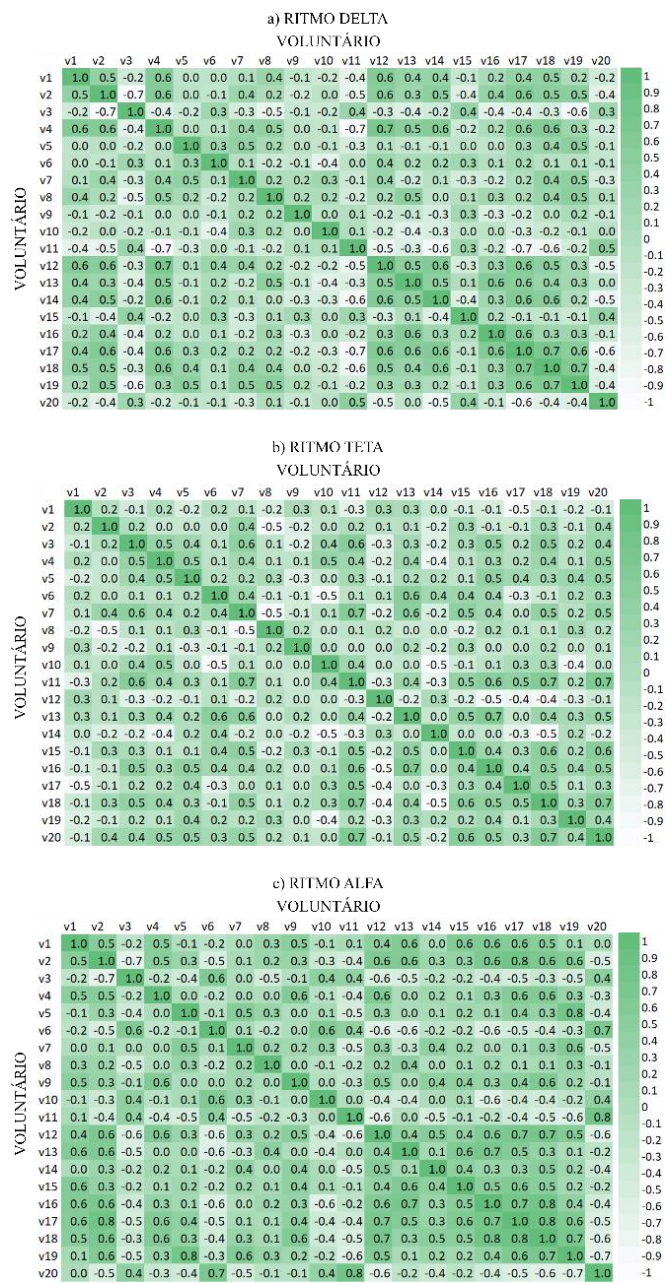
Por meio da literatura é esperado que o sinal EEG apresente diferentes comportamentos quando gravado em situações distintas, principalmente em pessoas neurologicamente saudáveis. Por exemplo, no estudo realizado por [14], foi encontrado tanto no córtex occipito-temporal quanto no central, a progressão da sincronização da banda teta e gama ao realizar a análise de componentes independentes, considerando que o fluxo de informações destas bandas está relacionado às regiões de processamento de linguagem e visual. Por outro lado, no presente estudo verificou-se que a presença de estímulo cognitivo provocou diminuição da correlação entre os voluntários indicando que, aparentemente, cada pessoa apresente uma maneira distinta de comportamento refletido no sinal EEG.

Figura 1: Diagramas de correlação dos voluntários no evento AO. a) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Delta. b) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Teta. c) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Alfa. Escala de cores: verde escuro máxima correlação positiva, branco máxima correlação negativa. Fonte: Gerada pelos autores



No estudo realizado por [15], que analisou a coerência em 19 voluntários em três diferentes situações, sendo elas: palavra escrita, apresentação auditiva e apresentação visual do objeto; constatou-se que, durante a realização da leitura, ocorreu um aumento da coerência alfa nos eletrodos temporais e um aumento da coerência gama entre os córtex parietal e temporal, de forma que para estes ritmos, existe uma semelhança maior entre os voluntários analisados, contrastando com o presente estudo, no qual obteve-se uma diferenciação maior nos voluntários quando realizada a leitura de palavras.

Figura 2: Diagramas de correlação dos voluntários no evento LP. a) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Delta. b) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Teta. c) Imagem referente a matriz de correlação para o ritmo Alfa. Escala de cores: verde escuro máxima correlação positiva, branco máxima correlação negativa. Fonte: Gerada pelos autores



Quando realizado tarefas cognitivas em 20 diferentes voluntários, como a leitura de palavras, o estudo realizado por [16] encontrou aumento da potência nas faixas gama e teta, sendo cerca de 2 a 5 vezes maior para a faixa gama e cerca de 1 a 3 vezes maior para a faixa teta. Tal aumento na potência espectral do sinal quando o voluntário se encontra sob a presença de um estímulo cognitivo ocasiona diferenciações maiores entre os voluntários analisados, o que justificaria um índice de correlação menor neste grupo, sendo um resultado que se relaciona com o observado no presente estudo.

No estudo realizado por [17], foi investigado como o ritmo alfa é modulado de maneira diferente dependendo da dificuldade da tarefa e da direção da atenção para a realização da tarefa. Os resultados mostraram que a atenção externa causou diminuição significativa do ritmo alfa, assim como na realização de tarefas mais exigentes, principalmente quando conduzida por estímulos visuais externos, de forma que fosse possível diferenciar a modulação alfa. Desta forma, assim o presente estudo, ocorreu diferenciação no ritmo alfa entre os voluntários avaliados quando foi apresentado um estímulo externo a eles.

Por fim, no estudo feito por [18], foi avaliado o estado do EEG em 62 voluntários durante realização de tarefas, como a identificação de cores na fonte das palavras escolhidas para o estímulo, ignorando o significado da palavra, e durante o repouso. Os resultados obtidos apontaram que a potência do ritmo Alfa aumentou significativamente enquanto os voluntários se encontravam em repouso quando comparado com o EEG da situação na qual eles realizavam tarefas cognitivas, sendo que tais descobertas podem implicar que as mudanças da potência do ritmo Alfa podem ser ferramenta valiosa no estudo do estado de repouso enquanto o voluntário se encontra sem a presença de nenhum estímulo. Por outro lado, no presente estudo, percebe-se que a coerência do ritmo Alfa (e não apenas esse ritmo, mas todos os demais) diminui quando o voluntário recebe estímulo cognitivo, ou seja, realiza a leitura de palavras.

#### IV. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou 20 registros de sinais EEG no qual foram registrados em duas situações distintas: Olhos abertos (AO), no qual o voluntário permaneceu em repouso, sem a realização de estímulo, e a Leitura de Palavras (LP). Este estudo teve como objetivo verificar a existência de correlação entre os voluntários pertencentes a um mesmo grupo. Os dados EEG considerados foram analisados através do quantificador PCP e então foi realizada a análise da correlação e aplicado um teste estatístico para validar as correlações obtidas.

Notou-se que, para os ritmos Delta, Teta e Alfa foram encontrados graus maiores de correlação nos voluntários quando submetidos à situação de repouso, resultado que também pode ser percebido através dos índices significativos de correlação gerados para todos os ritmos em ambas as situações, nas quais para tais ritmos foram percebidos os maiores valores. Com esse índice significativo de correlação também foi possível perceber que, nos ritmos Beta, Gama e Supergama (sendo estes dois últimos de altas frequências), obteve-se uma variação baixa tanto para a situação de olhos

abertos quanto para quando os voluntários estão realizando a tarefa cognitiva, quando comparados aos demais ritmos.

Em trabalhos futuros, objetiva-se analisar sinais EEG a partir da realização de outros estímulos cognitivos, como estímulos musicais ou cálculos para que se possa traçar um perfil comportamental do sinal EEG em indivíduos neurologicamente saudáveis sob situações de pré-estímulos versus durante estímulos. Além disso, ferramentas de estatística multivariada podem também ser utilizadas a fim de reunir em análises singulares outros quantificadores a fim de comprovar os resultados aqui obtidos. Para além disso, deseja replicar esse estudo em pacientes com acometimento neurológico expostos a outro tipo de estímulo, como por exemplo musical, a fim de auxiliar no prognóstico de tais pacientes.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores do presente estudo agradecem a todos os professores e alunos de iniciação científica que auxiliaram na pesquisa e aos órgãos de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por realizarem a assistência estrutural da pesquisa. Agradecimentos especiais à equipe de neurologia do Hospital de Clínicas da UFU pela assessoria técnica neurológica.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Baars, B. J.; Gage, N. M. *Cognition, brain, and consciousness: Introduction to cognitive neuroscience*. Academic Press, 2010.
- [2] Freeman, W. J.; Quiroga, R. Q. *Imaging Brain Function With EEG*. 3. ed. New York 2013: Springer Science, 2013.
- [3] Sörnmo, L.; Laguna, P. *Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications: 1. ed.* Academic Press, 668 p., 2005.
- [4] Schomer, D. L.; Silva, F. H. L. Da. *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Sixth ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- [5] Cossu, G. Therapeutic options to enhance coma arousal after traumatic brain injury: state of the art of current treatments to improve coma recovery. *British journal of neurosurgery*, v. 28, n. 2, p. 187-198, Apr. 2014.
- [6] Bizas, E.; Simos, P. G.; Stam, C. J.; Arvanitis, S.; Terzakis, D.; Micheloyannis, S. EEG correlates of cerebral engagement in reading tasks. *Brain Topogr.*, vol. 12, no. 2, pp. 99-105, Sep, 1999.
- [7] Dehaene, S. *Les Neurons de la Lecture*. Paris: Odile Jacob, 2007.
- [8] Buzsaki, G. *Rhythms of the Brain: 1.ed.* Oxford University Press, 465 p., 2009.
- [9] Pearson, K. VII. *Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a

- mathematical or physical character, n. 187, p. 253-318, 1896.
- [10] Scharinger, S. et al., "Pupil Dilatation and EEG Alpha Frequency Band Power Reveal Load on Executive Functions for Link-Selection Processes during Text Reading," *Plos One*, vol. 10, no. 6, pp. 1-24, Jun. 2015.
- [11] Ramos, C. D.; Pereira, G. M.; Rodrigues, A. A. A.; Campos, M; Destro Filho, J. B.; Carrijo, G. A. Quantitative Analysis of EEG Records in Distinct States of Consciousness: A Case Study on Brazilian Patient. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 16, no. 7, Jul. 2018
- [12] Sharma, A. K. *Text book of correlations and regression*. Discovery Publishing House, 2005.
- [13] Kafashan, M. et al. EEG dynamical correlates of focal and diffuse causes of coma. *BMC neurology*, v. 17, n. 1, p. 197, 2017.
- [14] Bedo, N.; Ribary, U.; Ward, L. M. "Fast Dynamics of Cortical Functional and Effective Connectivity during Word Reading", *Plos One*, vol. 9, no. 2, Feb. 2014.
- [15] Von Stein, A.; Sarnthein, J. "Different frequencies for different scales of cortical integration: From local gamma to long range alpha/theta synchronization," *Int. J. Psychophysiology*, vol. 38, no. 3, pp. 301-313, Jun. 2000.
- [16] Fitzgibbon, S. P., et al., "Cognitive tasks augment gamma EEG power," *Clinical Neurology*, vol. 115, no. 8, pp. 1802-1809, Aug. 2004.
- [17] Magoso, E.; Crescenzo, F.; Ricci, G.; Piastra, S.; Ursino, M. "EEG Alpha Power Is Modulated by Attentional Changes during Cognitive Tasks and Virtual Reality Immersion," *Computational Intelligence and Neuroscience: Neurophysiological Measures for Human Factors Evaluation in Real World Settings, Special Issue*, vol. 2019, Jun. 2019.
- [18] Compton, R. J.; Gearinger, D.; Wild, H. "The wandering mind oscillates: EEG alpha power is enhanced during moments of mind-wandering," *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, vol. 19, pp. 1184-1191, Sep. 2019.