

# Influência de Estímulos Auditivos em Sinais de Eletroencefalograma

Érica Fontana Paiva e G. Jerônimo da Silva Jr.

**Resumo**—Este artigo investiga a influência de estímulos sonoros no cérebro utilizando análise de Eletroencefalograma (EEG). Uma metodologia foi proposta para investigar a evolução da frequência das ondas neuronais no decorrer do tempo de pessoas sob estímulos sonoros modulados. Técnicas de modulação são apresentadas e técnicas de análise de sinais EEG são propostas.

**Palavras-Chave**— EEG, batidas binaural, isocrônico, DFT.

**Abstract**—This paper investigates the influence of sound stimuli in the brain using electroencephalogram (EEG) analysis. A methodology was proposed to investigate the development of frequency of brainwaves over time for people over modulated sound stimulus. Modulation techniques are presented and EEG signal analysis techniques are proposed.

**Keywords**— EEG, binaural beat, isochronic, DFT.

## I. INTRODUÇÃO

Os sinais elétricos que ocorrem nas redes neuronais do cérebro podem ser medidos utilizando o eletroencefalograma (EEG), inicialmente proposto em 1924 [1]. Eletrodos conectados em pontos específicos da cabeça são capazes de fazer a leitura das ondas cerebrais produzidas por neurônios que trabalham de forma assíncrona dentro de um cérebro humano [2].

O EEG é usado para diagnosticar doenças cerebrais e tem sido usado em investigações de sinais cerebrais em geral, como a resposta ao estímulo sonoro, visual e no desenvolvimento da interface cérebro-computador (BCI, do inglês, *brain computer interface*) [3].

Este trabalho investiga o efeito da mudança na frequência do sinal EEG em indivíduos sob efeito de estímulos sonoros. Os sinais audíveis testados são as batidas binaurais e sons modulados em amplitude, chamados de isocrônicos. Na Seção II, são apresentadas técnicas de modulação binaural e isocrônica e as técnicas usadas na análise de sinais EEG. A metodologia do trabalho é apresentada na Seção III. Um resumo dos resultados é apresentado na Seção IV e a conclusão do artigo está na Seção V.

## II. PRELIMINARES

O som binaural é resultado da diferença nas frequências sonoras escutadas em cada ouvido. Esse tom é percebido quando a frequência dos sons está entre 90 e 1000 Hz e a diferença entre as frequências sonoras percebidas em cada ouvido, a chamada frequência diferencial, seja no máximo

Érica Fontana Paiva e G. Jerônimo, da Silva Jr., Grupo de Processamento de Sinais, Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, E-mails: erica.fonpa@gmail.com, gilsonjr@gmail.com

35Hz [4]. Um tom audível de frequência  $100 < f_0 < 1000$  Hz é descrito no tempo (em segundos) pelo sinal

$$x(t) = A_0 \text{sen}(2\pi f_0 t), \quad (1)$$

em que  $A_0 \geq 0$  é a amplitude constante do sinal. Um sinal estéreo é representado pelo vetor de sinais  $[x_r(t) \ x_l(t)]$ , em que  $x_r(t)$  e  $x_l(t)$  são sons escutados, respectivamente, pelos ouvidos direito e esquerdo e deve ser reproduzido por fones de ouvido. Seja  $f_d$  a frequência diferencial, a modulação binaural do sinal dado em (1) é  $x_r(t) = x(t)$  e  $x_l(t) = A_0 \text{sen}[2\pi(f_0 + f_d)t]$ .

Sons isocrônicos funcionam como uma alteração da amplitude do sinal,  $A(t) \geq 0$ , com baixa frequência. A quantidade de picos por segundo na amplitude do sinal é a frequência isocrônica escutada. Supondo que a amplitude do sinal varia entre  $A_0$  e 0 com uma frequência  $f_d$ , pode-se escrever que a amplitude é uma função de  $t$  dada por

$$A(t) = \frac{A_0}{2} [1 + \cos(2\pi f_d t)]. \quad (2)$$

Para modular um sinal audível qualquer  $x(t)$  com um isocrônico de frequência  $f_d$ , basta computar  $y(t) = A(t)x(t)$ , e  $y(t)$  é um som audível (pois  $f_d \ll f_0$ ) modulado em amplitude. Nesse caso, o som pode ser reproduzido em caixas monofônicas.

### A. Bandas das Ondas Cerebrais

As variações das frequências do EEG podem ser classificadas em cinco bandas: delta, teta, alfa, beta e gama [5], conforme a Tabela I.

TABELA I  
BANDAS DAS ONDAS CEREBRAIS.

Banda	frequência (Hz)	característica
Delta	$f < 4$	sono profundo
Teta	$4 \leq f < 8$	sono
Alfa	$8 \leq f < 13$	relaxamento
Beta	$13 \leq f < 35$	concentração
Gama	$f \geq 35$	ativ. cerebral intensa

### B. Transformada de Fourier de Curta Duração

A transformada de Fourier de curta duração (STFT, do inglês *short time Fourier transform*) é aplicada quando se estuda a evolução do espectro no tempo. Assim, a STFT é uma representação tempo-frequência do sinal, mapeando  $x(t) \rightarrow X(\omega, \tau)$  [6]. A versão discreta da STFT é obtida

aplicando a transformada discreta de Fourier em cada janela de comprimento  $N$ , deslocando-a ponto a ponto, isto é

$$X[k, m] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n+m]w[n]e^{-j\frac{2\pi}{N}kn},$$

Em que  $x[n]$  é o sinal analisado e  $w[n]$  é a janela utilizada [6].

### C. Função Densidade de Probabilidade de Frequência

A função densidade de probabilidade (FDP) da frequência de um sinal  $x[n]$  é considerada diretamente proporcional a energia do sinal na respectiva frequência. A densidade de energia em função da frequência discreta  $k$  é proporcional a  $|X[k]|^2$ , em que  $X[k]$  é a DFT de  $x[n]$ .

Sendo  $x[n]$  uma discretização do EEG, amostrado com uma frequência de  $1/T$ , a frequência  $f_k$  do sinal se relaciona com a frequência discreta  $k$  por  $f_k = k/NT$ . A frequência mínima e máxima de interesse é  $f_{\min}$  e  $f_{\max}$ , respectivamente, portanto, o menor e o maior valor de  $k$  é  $k_{\min} = f_{\min}NT$  e  $k_{\max} = f_{\max}NT$ , respectivamente. Assim, a FDP de frequência de  $x[n]$  é

$$f[k] \triangleq |X[k]|^2 / \left( \sum_{m=k_{\min}}^{k_{\max}} |X[m]|^2 \right). \quad (3)$$

### D. Frequência Média e Desvio Padrão

A frequência média do sinal  $x[n]$  com FDP da frequência dada por (3) é

$$\bar{f} = \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\max}} f[k]f_k = \frac{1}{NT} \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\max}} kf[k]. \quad (4)$$

A variância da frequência é dada por

$$\sigma^2 = \sum_{k=k_{\min}}^{k_{\max}} f[k][k/(NT) - \bar{f}]^2, \quad (5)$$

e o desvio padrão da frequência é dado por  $\Delta f = \sigma$ .

## III. METODOLOGIA

A metodologia consiste em gerar tons isocrônicos e binaurais com  $f_d$  nas bandas delta, teta, alfa e beta. O som é tocado na aquisição do EEG seguindo o procedimento: 30 segundos de relaxamento (TR1); 30 segundos com o estímulo sonoro (TE); e 30 segundos de relaxamento (TR2). O estímulo sonoro é o tom de frequência  $f_0 = 264$  Hz, modulado com batida binaural e modulação em amplitude. Os dados foram obtidos com  $T = 4$  ms, a partir dos canais EEG: Fp1, Fp2, F4, FZ, F3, C4, CZ e C3. Análises com vários tipos de janela de comprimento  $N > 1024$  são realizadas [6].

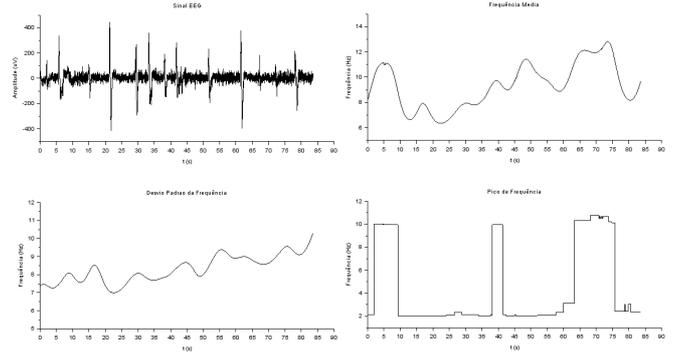


Fig. 1. Resultado da análise do canal Fp2 de indivíduo escutando tom de 264 Hz, binaural, com  $f_d = 6$  Hz utilizando janela de Hamming com  $N = 2^{12}$ .

## IV. RESULTADOS

As análises investigam a evolução temporal da média, pico e desvio padrão da frequência do sinal EEG. A Figura 1 mostra resultados para o tom binaural com  $f_d = 6$  Hz, e janela de Hamming com  $N = 2^{12}$ .

Dois pontos foram observados: (i) o período TE = 30 s é curto para avaliar um possível regime permanente para a frequência média e (ii) a evolução do pico da frequência varia de forma “quantizada”, sendo essa característica independente do canal e da janela utilizada.

## V. CONCLUSÃO

Uma metodologia para a investigação da influência de estímulos audíveis no cérebro foi proposta utilizando a análise de sinais EEG. Foram apresentadas as técnicas modulação binaural e modulação em amplitude. Técnicas de análise no domínio tempo-frequência foram apresentadas e aplicadas em experimentos de aquisição de EEG. Outros tipos de sons e novas técnicas de modulação estão sendo investigados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prof<sup>a</sup> Marilú G. N. M. da Silva, do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Pernambuco, pelas orientações e realização dos experimentos com EEG.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. F. Haas, “Hans berger (1873-1941), richard caton (1842-1926), and electroencephalography,” *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, vol. 74, no. 1, p. 9, 2003.
- [2] E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, and A. J. Hudspeth, *Principles of Neural Science*, 5th ed. McGraw-Hill Education / Medical, 2012.
- [3] Z. Xue, J. Li, S. Li, and B. Wan, “Using ica to remove eye blink and power line artifacts in eeg,” *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control - Volume I (ICICIC'06)*, vol. 3, pp. 107–110, Aug 2006.
- [4] H. Wahbeh, C. Calabrese, and H. Zwickey, “Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects,” *The Journal of Alternative and Complementary Medicine - Volume 13*, vol. 13, pp. 25–32, 2007.
- [5] A. A. S. da Silva and E. M. T. Filho, “Diferenças no processamento cerebral, através do ritmo gama, durante o pensamento divergente,” *Revista Neurociências*, vol. 23, no. 4, 2015.
- [6] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, and J. R. Buck, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.