

# Relatório de Trabalho de Grupo

## **Processamento de Sinal Biológico**

Engenharia de Computação e Instrumentação Médica  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Data do relatório/aula:**

6 de Janeiro de 2017

### **Identificação do grupo e respetivos elementos:**

1140915 – Isabel Pires Chaves

1140916 – Jorge Fernando Sousa

1131198 – Tiago Monteiro

## **Análise e Caracterização de um Eletroencefalograma - EEG**

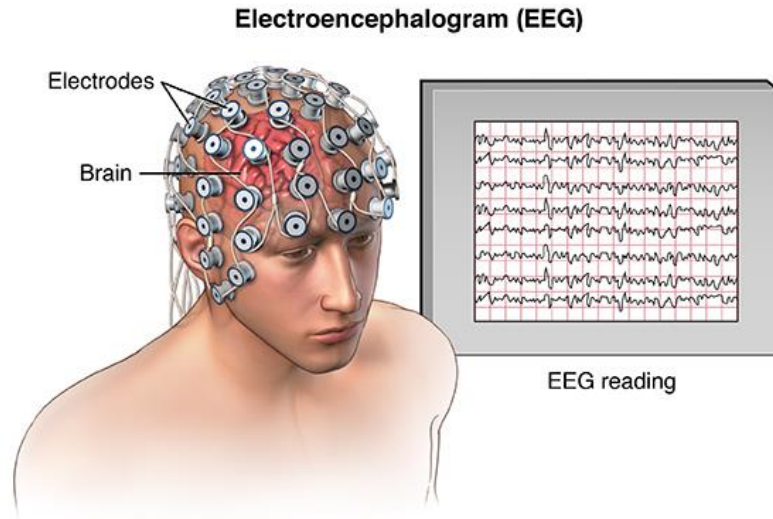
### **Objetivos da atividade**

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um algoritmo, em Matlab, que permita analisar e caracterizar um sinal biológico escolhido, o EEG, no sentido de se realizar a análise e identificação de patologias no registo de determinados pacientes. Tal será possível através da validação dos valores de referência das ondas do sinal em estudo, sendo que o objetivo principal será o estudo do sono através de um Eletroencefalograma.

### **Fundamentação Teórica**

O Eletroencefalograma (EEG) consiste no registo da atividade elétrica cerebral de um indivíduo. Este procedimento consiste em manter pequenos discos de metal (denominados por elétrodos), em contacto com a escalpe do paciente. Os elétrodos serão capazes de detetar pequenas cargas elétricas que são resultado da atividade nervosa das células cerebrais [4].

É, tipicamente, um exame não-invasivo. No entanto, existem exceções nas quais é possível a realização deste tipo de exames de uma forma invasiva dentro do bloco operatório.



**Figura 1. Figura ilustrativa de um EEG. [1]**

A existência de correntes elétricas no cérebro foi descoberta, pela primeira vez, em 1875 pelo físico Britânico Richard Caton. Caton conseguiu observar estas ondas através do estudo de cérebros expostos de ratos e macacos.

Uns anos mais tarde, em 1924 Hans Berger, um neurologista alemão, utilizou o seu rádio como forma de ampliar a atividade elétrica cerebral medida na escalpe humana. Hans Berger anunciou que as fracas correntes geradas no cérebro poderiam ser adquiridas sem haver necessidade de um método invasivo, ou seja, tais ondas poderiam ser obtidas na escalpe do indivíduo. Berger também reparou que estas ondas iam mudando a sua estrutura de acordo com a atividade que se encontra a realizar [11].

### **Características do sinal**

Os sinais biológicos podem ser classificados através de 3 métodos distintos: a sua fonte, a sua aplicação e as suas características. Sendo assim, quanto à sua origem o Eletroencefalograma trata-se de um sinal bioelétrico, visto que são analisadas as propriedades elétricas do corpo humano, mais concretamente, a atividade cerebral. Do ponto de vista da sua aplicação biomédica, este exame encontra-se incorporado na área da neurologia.

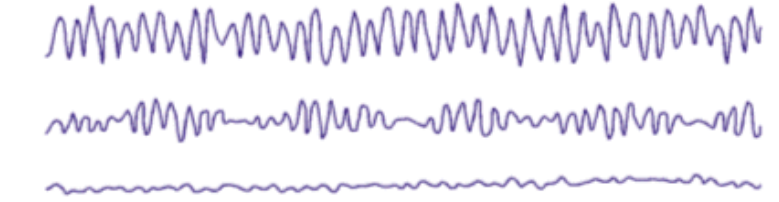



Por fim, em termos de características, é correto que o EEG se trata de um sinal contínuo, visto que é fornecida informação sobre o sinal em qualquer instante em termos de amplitude e taxa de variação (frequência). Este sinal também se trata de um sinal Estocástico Não-Estacionário, tal deve-se ao facto de o sinal não poder ser representado por uma expressão matemática, nem ter previsão estatística.

Eletricamente, trata-se de um sinal cuja gama de amplitudes se encontra entre os 2 – 100 $\mu V$ , e a sua gama de frequências se encontra entre os 0.5 – 100 Hz [1]. Como se poderá verificar posteriormente, esta última gama terá um significado diferente para cada valor de frequência.

A sua ritmicidade cria uma espécie de organização nas ondas de diferentes comprimentos e amplitudes. No entanto, a presença de um ritmo e organização não é um fator indicativo da normalidade de um EEG, muito pelo contrário, um elevado ritmo e organização pode mesmo ser um indicativo de uma anormalidade, como, por exemplo, de uma crise epiléptica. A reatividade deverá ser retratada como sendo uma característica a complementar, visto que um EEG de várias frequências deverá ser responsivo aos mais variados tipos de estímulos.

De uma forma geral, as bandas que se podem encontrar num EEG encontram-se descritas na Tabela 1.

**Tabela 1. Valores característicos de um sinal EEG.[1]**

| Nome da Banda de Frequência | Banda de Frequências | Exemplo  |
|-----------------------------|----------------------|--|
| Alfa                        | 8 - 13 Hz            |  |
| Beta                        | 13 – 22 Hz           |  |
| Delta                       | 0.5 – 4 Hz           |  |
| Teta                        | 4 – 8 Hz             |  |

Através da análise da Tabela 1 é possível concluir-se que, de uma forma geral, num EEG são visíveis 4 tipo de frequências bem definidas: Delta, Teta, Alfa e Beta. Num adulto normal, é possível verificar-se uma predominância de classes médias e rápidas (com elevadas frequências). Em contrapartida, as classes mais lentas são observadas com uma menor frequência.

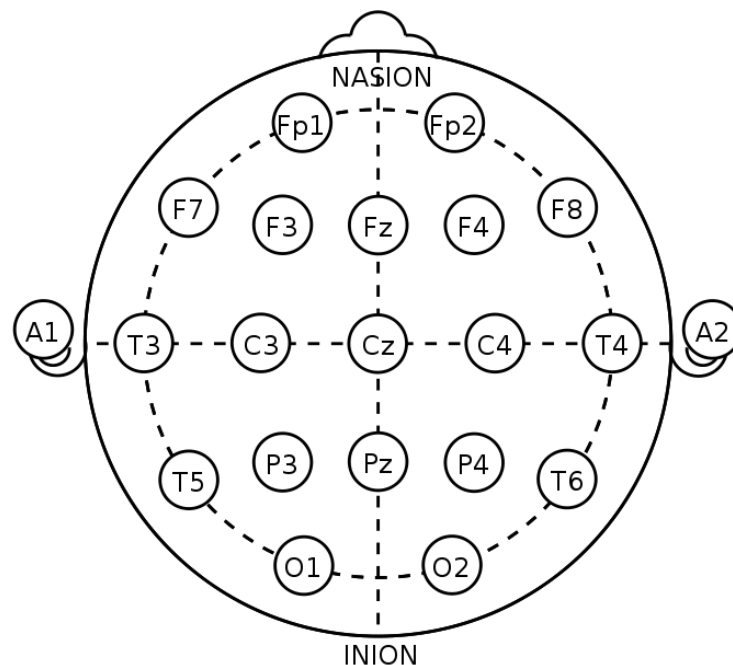
De uma forma geral, as ondas Alfa podem ser medidas no lobo cerebral occipital de um

ser humano com os olhos fechados. A gama de frequências Beta pode ser detetadas nos lobos parietal e frontal. Por outro lado, as ondas Delta são detetáveis em crianças e adultos adormecidos, assim como as ondas Teta [3].

Porém, neste trabalho propomos a análise de um EEG de forma a estudar e detetar anomalias nos ciclos de sono. O exame geral para a investigação de distúrbios de sono é a polissonografia e, dentro deste exame, podem ser realizados vários registos ou sensores, entre os quais, o eletroencefalograma (EEG), oximetria de pulso, o fluxo aéreo nasal e oral independentes ou até o eletrocardiograma. O exame de polissonografia é não invasivo e indolor, e, a pessoa em exame deve dormir com sensores fixados à superfície do seu corpo não atrapalhando assim o sono. Associado a este exame, o EEG permite-nos então obter informação sobre a atividade cerebral durante o sono e as suas diferentes fases [4].

### Aquisição do sinal

A aquisição de sinais do tipo Encefalográficos sempre foi problemática devido à localização das áreas de interesse. Sendo assim, nos dias de hoje, por norma, utiliza-se o sistema 10-20 para aplicação dos eléktodos. Como se poderá verificar na Figura 2.

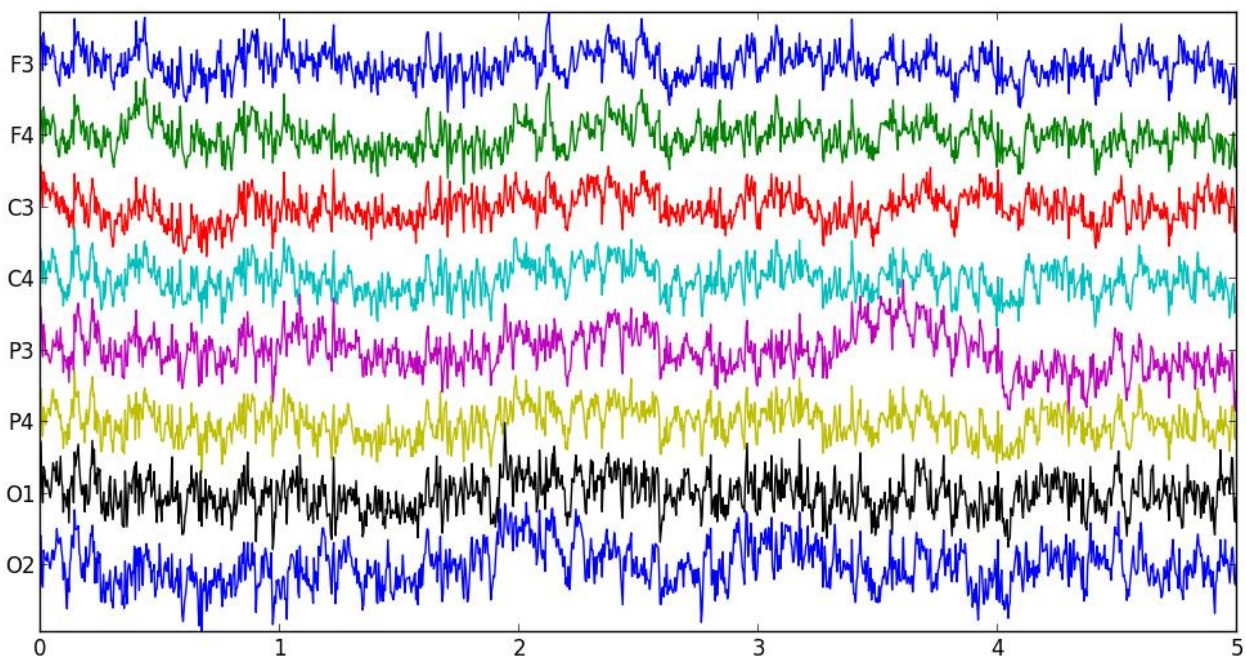


**Figura 2. Sistema Internacional 10-20[3].**

Como se pode verificar na Figura 2, este tipo de sistema encontra-se bem padronizado e é garantido que o nome dos eléktodos é consistente em todos os laboratórios do planeta.

Porém, tal como foi referido anteriormente, existem casos em que são usados menos elétrodos, como quando é necessário a realização de um EEG na unidade de neonatais, por exemplo. Assim, como se podem adicionar elétrodos ao número *standard*, em casos clínicos ou de estudo em que seja necessária uma maior resolução espacial da área cerebral (em matrizes de alta densidade – nestes casos, por norma, é utilizada uma rede ou touca) é possível serem colocados até 256 elétrodos, mais ou menos espaçados em todo o couro cabeludo [5].

Sendo assim, cada elétrico encontrar-se-á a obter informações relevantes independentemente dos seus elétrodos vizinhos. Isto quer dizer, que cada elétrico capta a atividade cerebral na zona em que se encontra a realizar a leitura, não necessitando da informação recebida pelos elétrodos vizinhos para o seu bom funcionamento [6].



**Figura 3- Representação gráfica de um Eletroencefalograma (EEG) ao longo do tempo.**

Através da análise da Figura 3, no eixo yy do gráfico apresentado encontram-se as etiquetas correspondentes aos elétrodos. Estas etiquetas estão de acordo com o sistema de etiquetas referenciado na Figura 2, de acordo com uma norma bem definida, de forma a este poder ser interpretado em qualquer clínica no planeta.

Atualmente, o Eletroencefalograma tem sido um grande apoio ao diagnóstico em vários tipos de patologias. Através do mesmo é possível avaliar certas condições, tais como:

- Convulsões;
- Doenças cerebrais (como, por exemplo, o Alzheimer);
- Estados de confusão;
- Traumatismo craniano;

- Encefalites ou meningites;
- Tumores cerebrais
- Alterações no sono;
- Alterações na memória;
- Investigação de períodos de perda de consciência;
- Monitorização da atividade cerebral durante uma cirurgia;
- Morte cerebral. [7]

Como se pode verificar, este tipo de exame permite obter um vasto conhecimento sobre o funcionamento do cérebro. No entanto, num só exame não é possível vigiar-se todas as zonas cerebrais, nem em todas os indivíduos os elétrodos são colocados da mesma forma e na mesma exata posição. Tal irá depender da zona a ser analisada e do foco em estudo.

Posto isto, o sinal em estudo foi obtido num utente enquanto este se encontrava a dormir. Como já referido, a utilização do eletroencefalograma durante o sono, dá-nos informações relacionadas com as diferentes fases do mesmo, fases essas sendo: a NREM (*Non-Rapid Eye Movement*), referente ao sono lento, engloba as fases 1, 2 e 3, e, a REM (*Rapid Eye Movement*), que se refere ao sono paradoxal.

A primeira fase do sono NREM, é a fase de sonolência e engloba 5 a 10% do *Total Sleep Time* (TST). Nesta fase, ocorrem movimentos oculares lentos e a diminuição da amplitude do ritmo alfa (predominantemente na zona posterior occipital) até que eventualmente desaparece (transição para o sono), sendo substituído por ritmos teta ( $\pm 4$  a 7 Hz). A forma de onda desta fase é bifásica, ou seja, são ondas negativas consecutivas até ao aparecimento de uma pequena onda positiva. A amplitude é de 100 a 150 $\mu$ V [15].

A segunda fase do sono NREM, é a fase de início do sono, 40-50% TST. Esta é a fase predominante de sono. Nesta fase, os movimentos oculares acabam por não ocorrer e surgem os fusos e o complexo K, sendo estes dois o suficiente para conseguir identificar esta fase. Os fusos de sono começam a surgir em bebés a partir das 6-8 semanas sendo bilaterais e assíncronos. Aos dois anos, a bilateralidade mantém-se, mas passam a ser síncronos. A sua frequência é de 12 a 16 Hz, amplitude de 20 a 100 $\mu$ V, e, o seu pico é registado na região central. Já o complexo K, é uma onda de alta amplitude, superior a 100 $\mu$ V, longa (>200ms) que está associada aos fusos de sono. O seu valor máximo é detetado pelos elétrodos CZ ou FZ, respetivos da zona media. Este complexo está associado a alterações de pressão sanguínea durante o sono [7].

A terceira fase do sono NREM, é chamada de onda de sono lenta ou sono delta. Durante um EEG padrão, esta fase não é detetada (é detetada apenas em EEG superiores a 24 horas). Como o próprio nome indica, esta fase é caracterizada pela atividade delta sendo ela polimórfica

e semi-ritmica. A amplitude desta onda é de pelo menos  $75\mu\text{V}$ .

A fase REM, também não é detetada por um EEG padrão pois este exame é feito durante 20 a 30 minutos e a fase REM ocorre após o centésimo minuto de sono. Nesta fase, podem ocorrer movimentos rápidos dos olhos. No que diz respeito à forma de onda, são detetadas formas de onda em Sawtooth nesta fase [15].

## **Processamento de sinal a implementar**

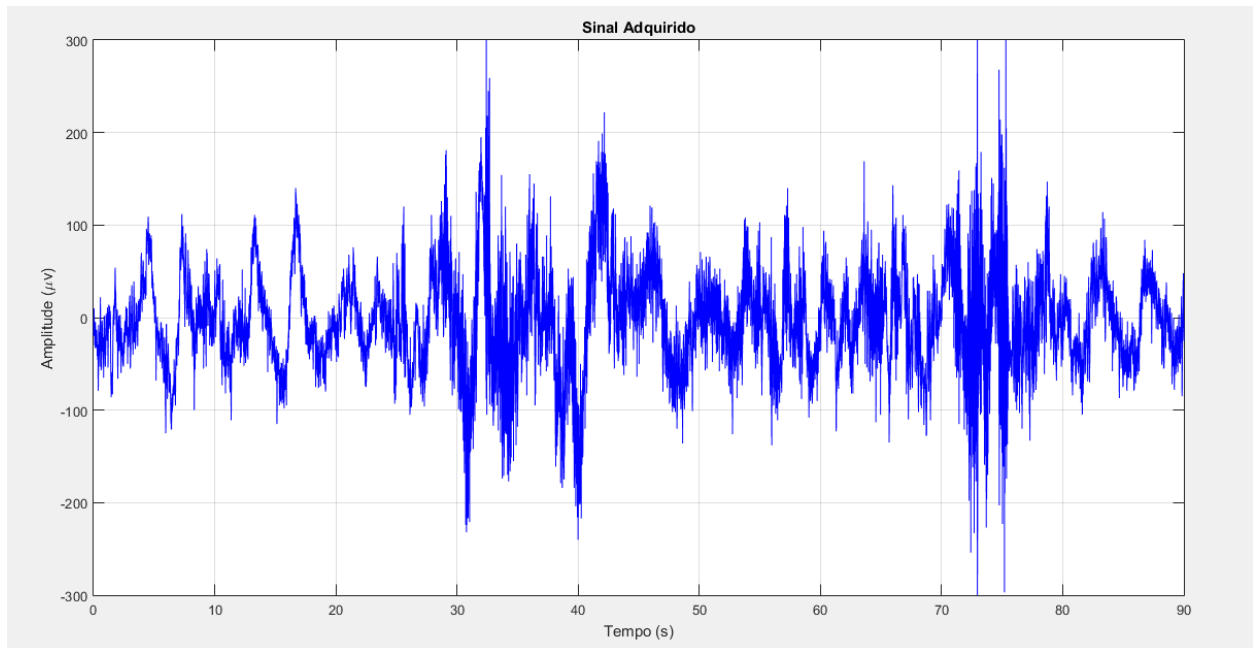
Um sinal é um fenómeno que transporta informação. Sendo assim, um sinal biológico é usado para a extração de informação de um sistema biológico que se encontra em estudo, principalmente. Porém, na maior parte das aplicações, a simples aquisição de sinal não é o suficiente, sendo necessária a aplicação de processamento de sinal, sobre o sinal adquirido, de forma a se conseguir perceber, ou a revelar, a informação que o mesmo contém de forma a ser possível incrementar a sua utilização por profissionais de saúde.

Esta necessidade, poder-se-á dever a 2 principais fatores: o sinal estar corrompido com ruído, ou a informação não se encontrar visível, sendo necessário aplicar-se algumas transformações para se poder aceder à informação pretendida.

A filtragem e a amplificação do sinal são exemplos de métodos de processamento de sinal. Contudo, no caso do EEG só deverá ser utilizada a filtragem, visto que o interesse deste sinal serão as frequências obtidas ao longo do tempo. Como tal, também iremos proceder à apresentação de resposta em frequência do EEG, através do auxílio da transformada de Fourier.

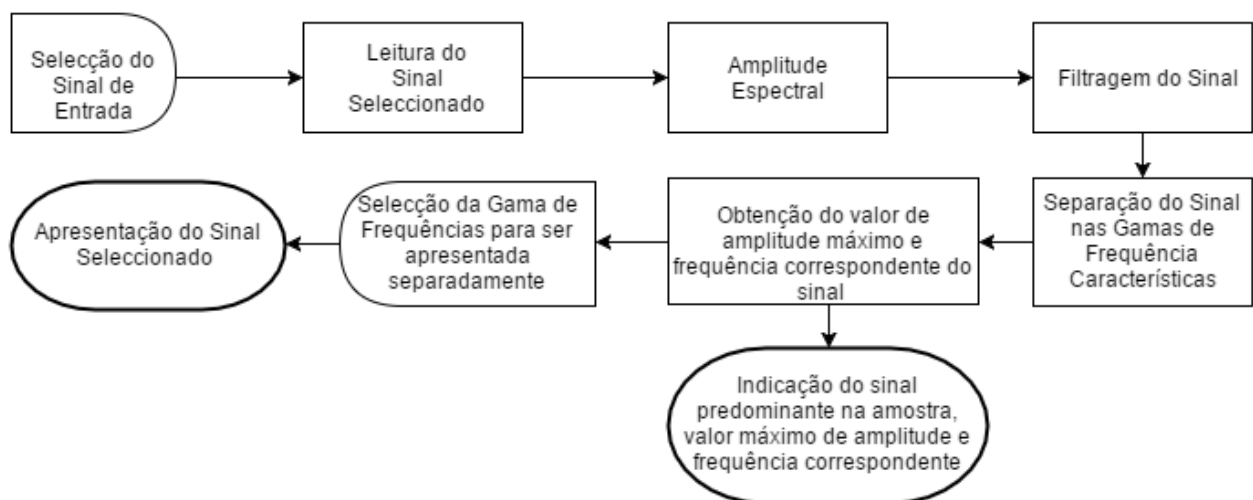
## **Análise dos sinais EEG**

A fase inicial do processamento do nosso sinal EEG consistiu na perceção do tipo de sinal obtido, tendo-se chegado à conclusão de que se tratava de uma aquisição de um estudo do sono com 4 diferentes canais: frontal esquerdo, frontal direito, parietal direito e parietal esquerdo. Sendo o principal objetivo comparar os sinais com a gama de frequências tabelada presente num ciclo de sono de um ser humano.



**Figura 4. Sinal EEG em estudo.**

Na Figura 4 é possível visualizar-se o sinal EEG inicial ao qual foi proposta uma análise cuidada e com objetivos estabelecidos (esta análise está presente na Figura 5).



**Figura 5. Fluxograma da análise proposta.**

A secção seguinte apresenta uma descrição detalhada de como se procedeu ao desenvolvimento do fluxograma proposto.

### Desenvolvimento do Algoritmo

De forma a atingir os objetivos propostos para este projeto, foi desenvolvido um algoritmo em MATLAB cujos resultados obtidos se encontram descritos ao longo desta secção.



O Matlab é um software interativo de alta performance, voltado para o cálculo numérico. A sua sintaxe é muito semelhante a algumas linguagens de programação, como a linguagem C [17].

O sinal obtido por um EEG é um sinal que requer um especial cuidado no momento da sua aquisição, visto que qualquer movimento por parte do paciente ou até mesmo qualquer movimento provocado nos cabos dos elétrodos irá provocar ruído no sinal adquirido, este ruído é, por norma, designado de artefacto. Como este tipo de sinal também é bastante sensível a ruído eletromagnético, o sinal adquirido já se encontrava sujeito a um filtro rejeita banda na gama dos 50Hz.

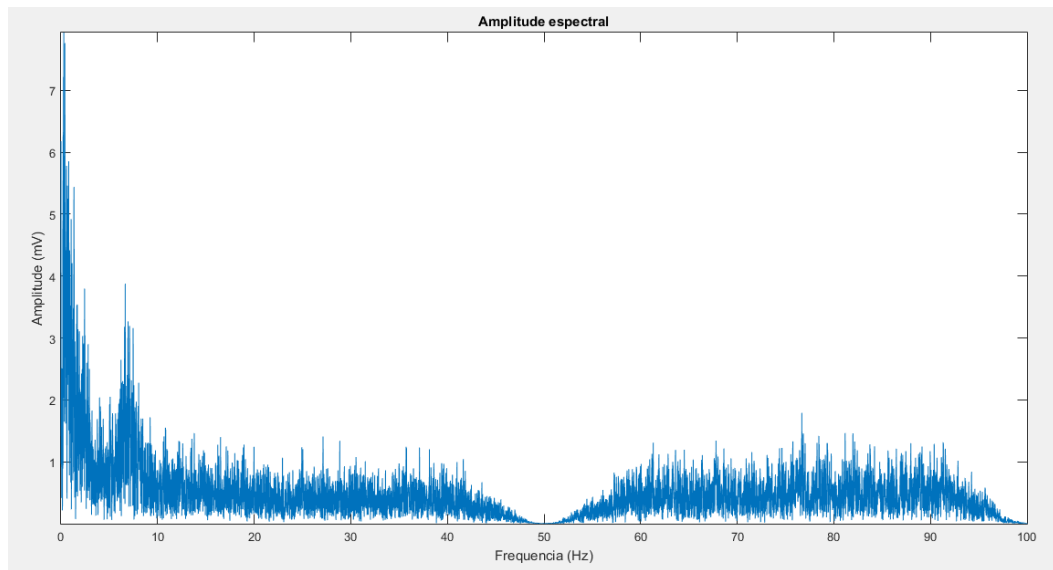
Sendo assim, a primeira etapa de processamento realizada foi a escolha de um filtro que nos permitisse filtrar as componentes do sinal que já não se encontrassem na gama de análise.

Para isto foi necessário conhecer as frequências de corte para se saber qual a banda de passagem, a banda de rejeição e a banda de transição. A banda de passagem normalmente é conhecida, porque normalmente corresponde ao intervalo desde 0 até à frequência de corte. A banda de rejeição é dada do intervalo da frequência de corte até  $\pi$ . Para esta etapa foram experimentados vários tipos de filtros, de diferentes ordens e tipos [3]:

- Butterworth – A resposta em frequência é muito plana, porque não tem ripple com ondulação na banda passante. Aproxima-se de zero na banda de rejeição. É o único filtro que mantém o mesmo formato para ordens elevadas. Possui uma queda mais lenta em relação ao seguinte e uma resposta em fase mais linear na banda de passagem.
- Chebyshev I – É composto por ripple na banda de passagem, a sua banda de transição tem uma atenuação mais acentuada e a banda de rejeição é mais plana.
- Chebyshev II – Este filtro minimiza a diferença entre as respostas em frequência real e ideal ao longo de todo o processo.
- Elípticos – A banda de passagem e a banda de rejeição contem ripple, sendo a sua banda de transição muito abrupta.

Como no sinal que foi adquirido, apenas se sabe o número de amostras e o tempo de amostragem, é necessário descobrir outro tipo de características do sinal, como a frequência predominante presente no mesmo e a frequência de amostragem (que normalmente é dada pelo dobro da frequência do sinal adquirido).

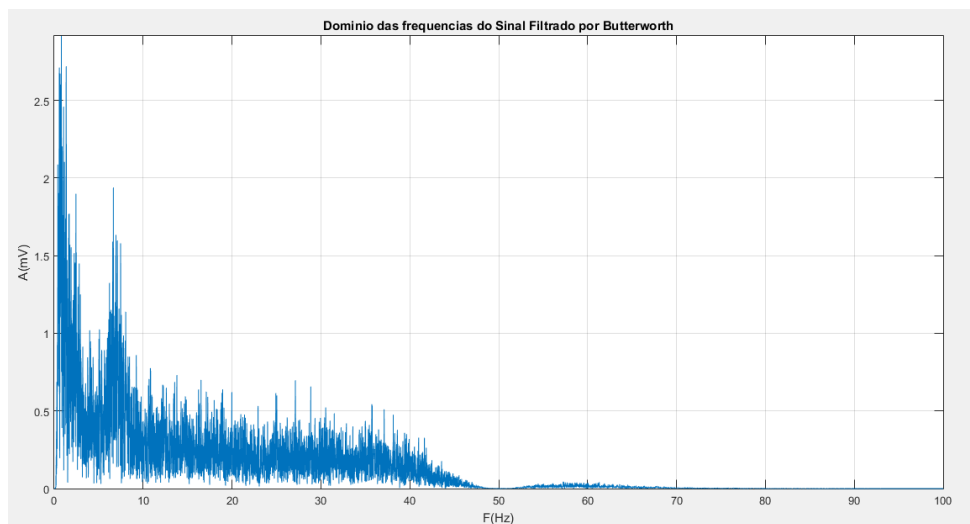
Após a representação do sinal obtido procedeu-se à representação do sinal no domínio das frequências. Para tal sujeitou-se o sinal inicial à Transformada de Fourier, como se poderá ver na Figura 6.



**Figura 6. Representação espectral do sinal em estudo.**

Como se pode verificar através da análise da Figura 6 e como já foi referido previamente, os sinais já se encontravam previamente filtrados para a gama dos 50Hz, no entanto, ainda se consegue visualizar gamas de frequências correspondentes a ruído, ou seja, nas quais não existe informação relativa à atividade elétrica cerebral do paciente em estudo.

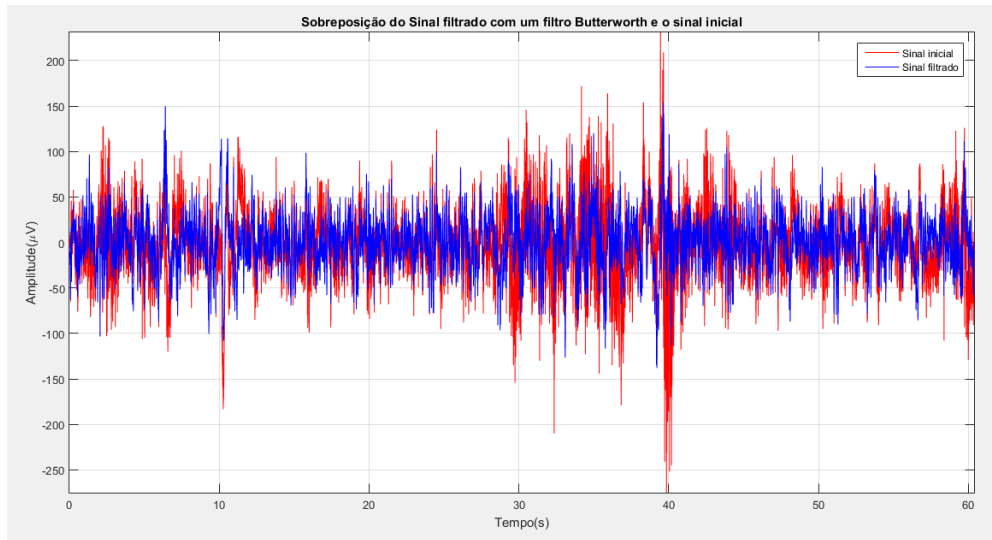
Após vários estudos realizados, chegou-se à conclusão que o filtro que mais se adequa ao tipo de sinal em estudo será um Filtro Butterworth Passa-Banda, de ordem 4 e sendo a frequência de corte inferior 0.45 Hz e a frequência de corte superior 40 Hz.



**Figura 7. Sinal filtrado no domínio dos tempos.**

Como se pode validar na Figura 7 o sinal já se encontra mais coerente com a gama de frequência em estudo. As principais ondas presentes num estudo do sono são as ondas Alfa, Beta,

Delta e Teta. Posto isto a gama de frequências que se tem de ter em conta (como se pode confirmar através da Tabela 1) é entre 0.5 a 22 Hz.

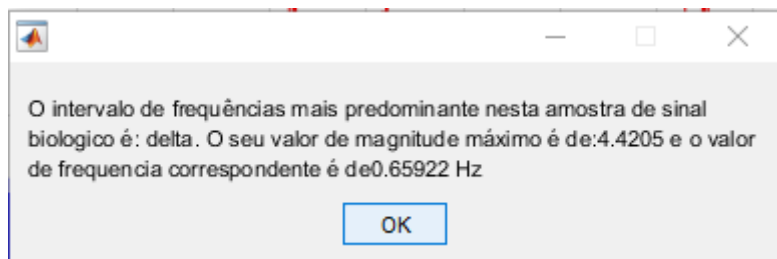


**Figura 8. Sobreposição do sinal filtrado com o sinal inicial.**

Na Figura 8 é possível visualizar-se que o sinal inicial se encontrava com bastante informação irrelevante para a análise pretendida do sinal, em comparação com o sinal filtrado que se pretende analisar.

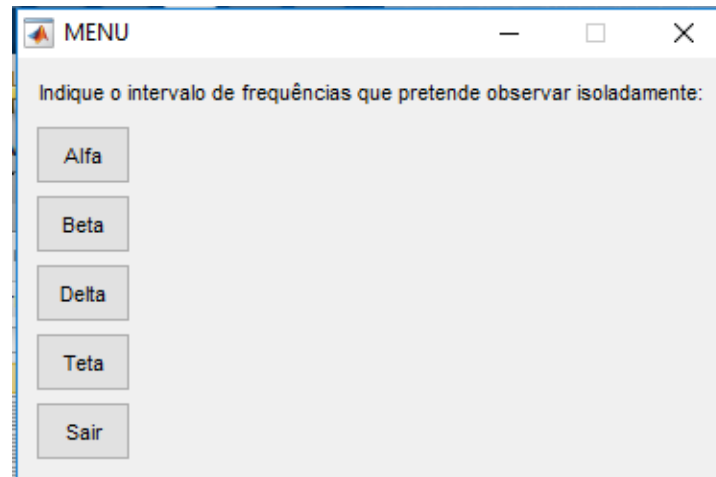
De seguida, procedeu-se ao estudo do sinal com o objetivo de descobrir a gama de frequências mais proeminente no sinal. Para isto, foi necessário extrair do sinal a gama de amplitudes com maior magnitude em todo o sinal, e relacionar esta com a frequência correspondente.

O passo seguinte foi comparar os valores obtidos com os valores tabelados e lançar um alerta com essa informação como se encontra apresentado na Figura 9.



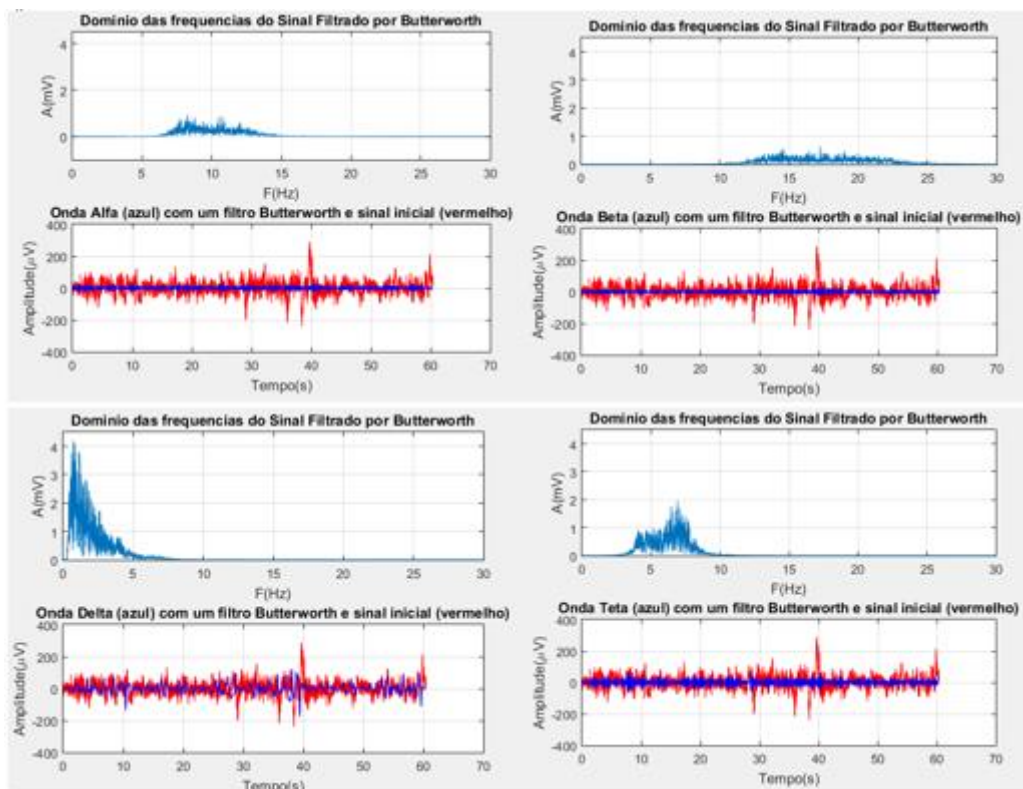
**Figura 9. Alerta relativo à frequência mais proeminente no sinal.**

Sem demora, perguntou-se ao utilizador se pretende visualizar alguma gama de frequências (Figura 10) e o algoritmo é executado com o fim de mostrar a componente daquela gama de frequências escolhida, ou de terminar a sua execução.



**Figura 10. Menu de escolha para visualização das componentes do sinal.**

Apresentado posteriormente a opção seleccionada pelo utilizador. Na Figura 11 encontra-se um exemplo de resposta a todas as opções apresentadas na Figura 10. Tais sinais são obtidos através da análise por parte de filtros passa banda nas gamas de frequência de cada intervalo de onda.



**Figura 11. Representação gráfica das gamas de frequência analisadas.**

## Conclusão

Os objetivos do trabalho foram atingidos, uma vez que foi possível a elaboração de um algoritmo capaz de determinar as ondas cerebrais predominantes num EEG de estudo do sono, assim como a magnitude da onda e a sua frequência. Assim como apresentar todas as gamas presentes no sinal.

Com os resultados obtidos e através da análise das informações presentes na Tabela 1, é possível concluir que o paciente apresentava, na sua maioria uma predominância de ondas Delta, que correspondem a um indivíduo em sono profundo.

## Bibliografia

- [1] R. Adur e others, «Sistema de processamento de sinais biomédicos: módulo didático de eletroencefalograma», 2008.
- [2] «13. Electroencephalography». [Em linha]. Disponível em: <http://www.bem.fi/book/13/13.htm>. [Acedido: 12-Nov-2016].
- [3] «Comparison of Classical IIR Filter Types :: Filter Design and Implementation (Signal Processing Toolbox)». [Em linha]. Disponível em: <http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/signal/filterd5.html>. [Acedido: 06-Jan-2017].
- [4] «Electroencephalogram (EEG)». [Em linha]. Disponível em: <https://www.saintlukeshealthsystem.org/health-library/electroencephalogram-eeg>. [Acedido: 22-Out-2016].
- [5] T. M. Lau, J. T. Gwin, e D. P. Ferris, «How Many Electrodes Are Really Needed for EEG-Based Mobile Brain Imaging?», *J. Behav. Brain Sci.*, vol. 2, n. 3, pp. 387–393, 2012.
- [6] I. Karakis, K. H. Chiappa, M. San Luciano, K. C. Sassower, J. W. Stakes, e A. J. Cole, «The utility of routine EEG in the diagnosis of sleep disordered breathing», *J. Clin. Neurophysiol. Off. Publ. Am. Electroencephalogr. Soc.*, vol. 29, n. 4, pp. 333–338, Ago. 2012.
- [7] I. G. Campbell, «EEG Recording and Analysis for Sleep Research», *Curr. Protoc. Neurosci. Editor. Board Jacqueline N Crawley Al*, vol. CHAPTER, p. Unit10.2, Out. 2009.
- [8] S. J. Van Albada e P. A. Robinson, «Relationships between electroencephalographic spectral peaks across frequency bands», *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 7, p. 56, 2013.
- [9] «Actualise – What Is EEG?» .

- [10] «How to Read an EEG», *Epilepsy Foundation*. [Em linha]. Disponível em:  
<http://www.epilepsy.com/learn/diagnosis/eeg/how-read-eeg>. [Acedido: 11-Nov-2016].
- [11] M. Teplan, «Fundamentals of EEG measurement», *Meas. Sci. Rev.*, vol. 2, n. 2, pp. 1–11, 2002.
- [12] T. H. Budzynski, H. K. Budzynski, J. R. Evans, e A. Abarbanel, *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback: Advanced Theory and Applications*. Academic Press, 2009.
- [13] P. A. Abhang, B. W. Gawali, e S. C. Mehrotra, *Introduction to EEG- and Speech-Based Emotion Recognition*. Academic Press, 2016.
- [14] R. Ferrari, A. I. C. Arce, M. P. de Melo, e E. J. X. Costa, «Noninvasive method to assess the electrical brain activity from rats», *Ciênc. Rural*, vol. 43, n. 10, pp. 1838–1842, 2013.
- [15] «Normal Sleep EEG: Overview, Stage I Sleep, Stage II Sleep», Ago. 2016.
- [16] «Polissonografia - Distúrbios do Sono». [Em linha]. Disponível em:  
<http://www.disturbiosdosono.net/polissonografia.shtml>. [Acedido: 15-Nov-2016].
- [17] «MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink». [Em linha]. Disponível em: <https://www.mathworks.com/>. [Acedido: 23-Dez-2016].