

# Estudo de conectividades cerebrais através do cálculo de coerências em sinais de EEG

Francisco Santos<sup>1</sup> and João Mota<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Students of Biomedical Engineering, NOVA School of Science and Technology, NOVA University of Lisbon, Portugal

4/6/2025

## Abstract

Electroencephalography (EEG) is a non-invasive technique commonly utilized to assess the brain's electrical activity. In recent times, examining brain connectivity has become increasingly important in neuroscience, especially in exploring how various brain areas functionally interact. This study seeks to examine functional brain connectivity using coherence analysis of EEG signals, a frequency-domain approach that assesses the linear association between signals captured from various scalp sites.

## 1 Introdução

No ramo da Engenharia Biomédica e mais em particular na área da Neurociência, o estudo das interações entre as diferentes partes do cérebro é um dos principais desafios da atualidade. Estas conectividades podem ser estruturais, funcionais e efetivas, categorias que serão exploradas com maior detalhe nas secções seguintes. [7] O objetivo deste trabalho passa, sobretudo, por tentar identificar as relações entre diferentes partes do cérebro e como estas são afetadas em estados diferentes (repouso, atividade de cálculo, olhos abertos e olhos fechados).

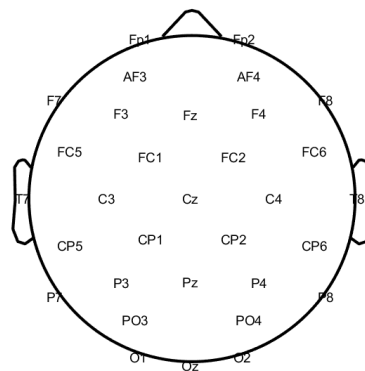
## 2 Fundamentos da Atividade Elétrica Cerebral

A atividade elétrica cerebral resulta da interação dinâmica entre milhões de neurónios, que comunicam entre si por meio de sinapses químicas e elétricas. As sinapses químicas, mais comuns, iniciam-se com a chegada de um potencial de ação à extremidade do axónio, gerado por diferenças na concentração de iões através da membrana. Isso leva à libertação de neurotransmissores na fenda sináptica, os quais ativam o neurónio seguinte, originando um novo potencial de ação. Já as sinapses elétricas, menos frequentes, ocorrem através de *gap junctions*, que permitem a passagem direta de iões entre neurónios, resultando numa transmissão mais rápida do sinal. [5] A coordenação entre as duas formas de sinapses permite ao sistema nervoso central uma flexibilidade funcional, bem como uma resposta rápida. É também ao nível dessa sincronização que surgem as ondas cerebrais. As ondas cerebrais classificam-se por frequência: as ondas Delta alcançam frequências de 0,5 a 4

Hz e estão relacionadas com a consciência, recuperação e sono profundo; as ondas Theta alcançam frequências de 4 a 8 Hz e estão relacionadas com a criação de memória quando a pessoa se encontra a dormir e com tarefas cognitivas leves; as ondas Alpha alcançam frequências de 8 a 13 Hz e estão relacionadas com a criação, relaxamento e meditação; as ondas Beta alcançam frequências de 13 a 30 Hz e estão associadas ao raciocínio, cognição e atenção; as ondas Gamma alcançam frequências acima de 30 Hz e estão relacionadas com funções cognitivas complexas, como atenção, memória, consciência e integração sensorial. [3] O eletroencefalograma (EEG) é uma técnica que mede a diferença de potencial elétrico entre pares de eletrodos colocados no couro cabeludo. Essas diferenças de potencial refletem a atividade elétrica do cérebro, resultante da soma de correntes pós-sinápticas geradas principalmente por neurónios piramidais do córtex cerebral. A origem do sinal EEG está relacionada com a condução elétrica de volume, ou seja, a propagação passiva de correntes geradas pela atividade sináptica no espaço extracelular. O sinal passa pelo fluido intersticial, células gliais e tecidos, que atuam como bons condutores. A atividade neuronal rítmica e os processos oscilatórios sincronizados são as principais fontes das variações de potencial registadas.

O sinal EEG pode ser obtido em duas formas principais:

- EEG de escalpe: é mais atenuado, pois o tecido biológico não conduz perfeitamente. Apenas grandes áreas de atividade sincronizada e com orientação adequada geram sinais detectáveis (tipicamente com amplitude inferior a 100  $\mu\text{V}$ ).
- EEG intracortical: permite registar diretamente zonas corticais e subcorticais com maior resolução e amplitude (superior a 300  $\mu\text{V}$ ), sendo útil em contextos clínicos como a epilepsia.



**Figure 1.** Esquema dos eletrodos no sistema internacional 10-20 para EEG utilizado na aquisição dos dados.

### 3 Conectividade Cerebral

A conectividade cerebral refere-se à forma como diferentes regiões do cérebro se interligam e interagem. Existem três tipos de conectividade: estrutural, refere-se às conexões físicas e anatómicas entre neurónios, geralmente mediadas por sinapses excitatórias e inibitórias. Essa rede de conexões forma o chamado conectoma; funcional, expressa correlações temporais entre padrões de atividade neuronal que ocorrem simultaneamente em áreas espacialmente segregadas do cérebro; efetiva, descreve interações causais entre áreas. [7]

## 4 Coerência em sinais de EEG

A coerência entre sinais de EEG é usada para analisar conectividade funcional entre diferentes regiões cerebrais, refletindo o grau de correlação temporal entre os ritmos oscilatórios em diferentes canais. Este parâmetro é fundamental para estudar padrões de interação neuronal e organização funcional do cérebro. Do ponto de vista matemático, a coerência corresponde, no domínio da frequência, ao que a correlação cruzada representa no domínio do tempo [1]. Ou seja, "a coerência é uma medida no domínio da frequência da relação linear entre dois sinais e é amplamente utilizada para avaliar a conectividade funcional em dados de EEG e MEG." [4]

## 5 Metodologia

### 5.1 Pré-processamento

O pré-processamento do sinal EEG teve como principal objetivo remover diferentes tipos de ruído que poderiam comprometer a análise da coerência. Em primeiro lugar, aplicou-se um filtro bandstop centrado nos 50 Hz para eliminar a interferência proveniente da rede elétrica europeia. De seguida, utilizaram-se filtros passa-alto e passa-baixo com o intuito de atenuar artefactos de baixa frequência, frequentemente associados a movimentos involuntários da pessoa, bem como ruído de alta frequência relacionado com atividade muscular ou interferência eletrónica. Por fim, procedeu-se à decomposição do sinal em bandas de frequência específicas: Theta (4 - 8 Hz), Alpha (8 - 13 Hz), Beta (13 - 30 Hz) e Gamma (30 - 100 Hz), permitindo uma análise segmentada do EEG, que é frequentemente mais informativa do que a análise de todas as frequências em conjunto.

### 5.2 Comparação entre Olhos Fechados e Olhos Abertos em repouso (banda Alpha)

Segundo a literatura [6], as ondas Alpha estão associadas a "estados de vigília, quando o indivíduo está relaxado ou fecha os seus olhos" (Teplan, 2002, as cited in Silva, 2016). Por este motivo, escolhemos fazer a análise das diferenças nas coerências na banda alfa entre os estados referidos acima, esperando uma diminuição nas coerências da banda alfa no estado de olhos abertos, especialmente nos canais occipitais e frontais.

### 5.3 Comparação entre estado de repouso e atividade de cálculo com olhos fechados (banda Theta e Beta)

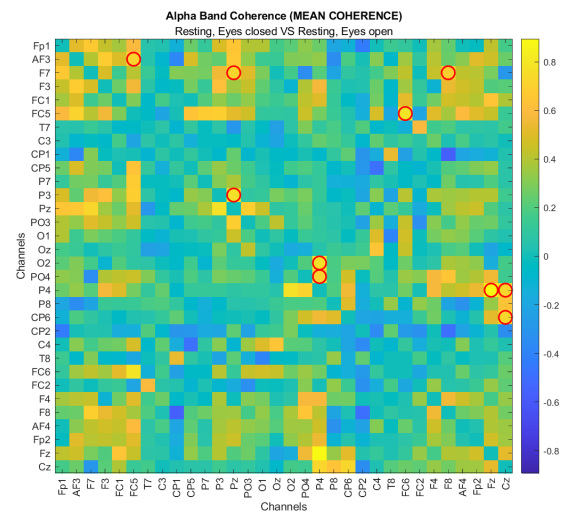
Apesar de menos explorado na literatura, as ondas Theta têm sido associadas a atividades cognitivas como tarefas mentais leves [2], como a atividade de cálculo. As ondas Beta são frequentemente associadas a cognição, processamento ativo e atenção [3]. Tendo isto em conta, escolhemos fazer a comparação entre os estados de atividade e repouso com olhos fechados (de forma a haver menos variáveis diferentes) nestas bandas de frequência. Esperamos encontrar, portanto, um aumento das coerências das ondas Theta e Beta no estado de atividade de cálculo, principalmente nos canais frontais e parietais, mais associados a atividade cognitiva.

## 6 Resultados e Discussão

Os gráficos que analisámos de forma a poder tirar conclusões são heatmaps que mostram a diferença entre a coerência média entre todos os canais do EEG. Desta forma, as zonas onde ocorre maior aumento de coerência no primeiro estado estão representadas por tons amarelados, as zonas onde não há diferença significativa de coerência estão representadas a verde e as zonas onde ocorre maior aumento de coerência no segundo estado estão representadas por tons de azul (a escala encontra-se representada no gráfico). Estão também identificados por círculos vermelhos os pares de canais onde o aumento de coerência foi maior no primeiro estado.

### 6.1 Comparação entre Olhos Fechados e Olhos Abertos em repouso (banda Alpha)

Como esperado, conseguimos verificar um aumento generalizado da coerência média entre a maior parte dos canais (evidenciado pelas zonas a amarelo), com destaque especial para os canais occipitais e parietais posteriores (diferença de coerência superior a 0,8). Também se observaram aumentos significativos de coerência em grande parte dos canais frontais. Tais resultados corroboram a literatura prévia que associa as ondas Alpha a estados de relaxamento e de olhos fechados.



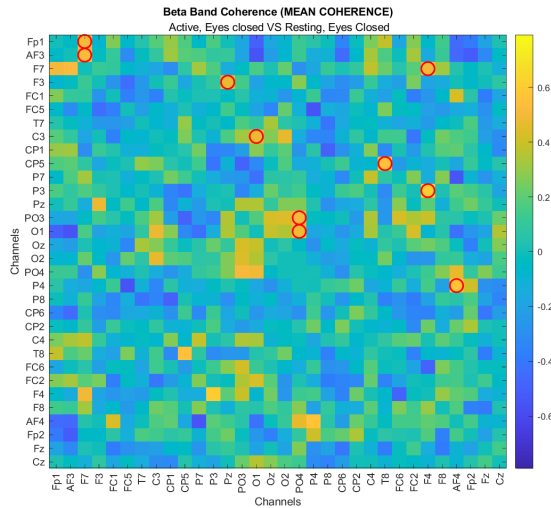
**Figure 2.** Coerência: olhos fechados vs olhos abertos em repouso — Banda Alpha.

### 6.2 Comparação entre estado de repouso e atividade de cálculo com olhos fechados (banda Theta e Beta)

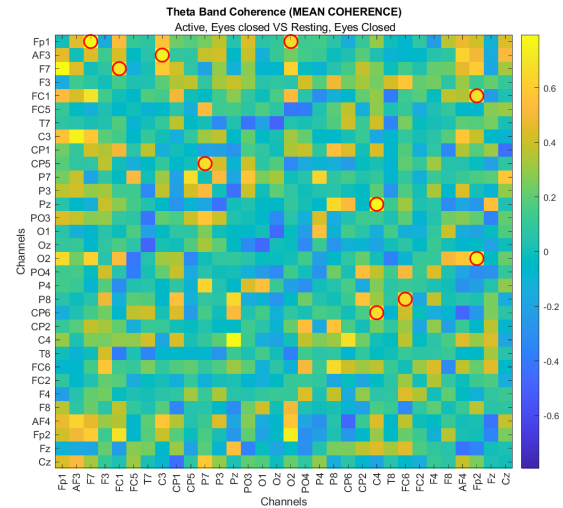
Na banda Beta, observou-se um aumento da coerência entre canais frontais e parieto-temporais durante a atividade de cálculo. No entanto, esse aumento revelou-se menos significativo que na análise anterior, com diferenças de coerência situadas entre 0,4 e 0,6.

Já na banda Theta, os resultados mostraram aumentos de coerência superiores a 0,6, especialmente entre canais frontais e parietais, bem como entre regiões frontais e occipitais.

Estes resultados estão de acordo com o esperado, permitindo-nos inferir que as ondas Theta são as que têm mais probabilidade de estar associadas a processamento mental leve, uma vez que foi onde verificámos maiores aumentos da coerência. Estes aumentos ocorreram principalmente em canais frontais e parietais anteriores, o que está de acordo com a literatura, que aponta para estas zonas como as responsáveis pelo pensamento e atividade cognitiva.



**Figure 3.** Coerência: atividade de cálculo vs repouso — Banda Beta.



**Figure 4.** Coerência: atividade de cálculo vs repouso — Banda Theta.

## 7 Conclusão

Este estudo demonstrou que a análise de coerências em sinais de EEG é uma abordagem eficaz para investigar a conectividade funcional cerebral. As variações nas bandas Alpha, Theta e Beta confirmaram padrões esperados em diferentes estados mentais. Os resultados reforçam a utilidade do EEG na avaliação de processos cognitivos e destacam o seu potencial para aplicações clínicas e de investigação.

## References

- [1] A. M. Bastos and J.-M. Schoffelen. A tutorial review of functional connectivity analysis methods and their interpretational pitfalls. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9:175, 2016.
- [2] J. F. Cavanagh and M. J. Frank. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8):414–421, 2014.
- [3] E. Niedermeyer. The normal eeg of the waking adult. In E. Niedermeyer and F. L. da Silva, editors, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, pages 149–173. Oxford University Press, 5 edition, 2005.
- [4] P. L. Nunez and R. Srinivasan. *Electric Fields of the Brain: The neurophysics of EEG*. Oxford University Press, New York, 2 edition, 2006.
- [5] J. Pires. Eeg 1 – fisiologia clínica: 2.º ano. Apresentação em formato PDF (PowerPoint), 2019. Apontamentos da unidade curricular. Ano letivo 2019/2020, Escola Superior de Tecnologia da Saúde.
- [6] G. B. S. Seco. Otimização da quantificação do ritmo alfa em sinais de eeg obtidos com dispositivo portátil. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências de Botucatu, 2016. 1 CD-ROM.
- [7] S. Wein, G. Deco, A. M. Tomé, M. Goldhacker, W. M. Malloni, M. W. Greenlee, and E. W. Lang. Brain connectivity studies on structure-function relationships: A short survey with an emphasis on machine learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021:5573740, 2021.