



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Denison Eliezer Arruda Madeira

Análise de conectividade neural durante a aplicação de estratégias de regulação emocional

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2024

Denison Eliezer Arruda Madeira

Análise de conectividade neural durante a aplicação de estratégias de regulação emocional

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Profa. Adrielle de Carvalho Santana, PhD.

Ouro Preto

2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Denison Eliezer Arruda Madeira

Análise no domínio da frequência dos mecanismos cerebrais envolvidos em estratégias de regulação emocional

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 23 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil
Dr. Marcos Vinícius de Paula Rosa - Convidado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
Dr. Marcos Domic-Siede - Convidado - Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/03/2024



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/03/2024, às 08:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0670674** e o código CRC **421E9087**.

Resumo

As emoções são parte fundamental da vida humana, elas agem no cotidiano do ser humano nas interações sociais, na regulação do comportamento e impactam a saúde. O desequilíbrio emocional, causado por uma desordem de emoções geradas, afeta a capacidade de realizar tarefas e, por isso, são necessários meios para controlá-lo por meio do mecanismo da regulação emocional que é definida como a capacidade de exercer controle ou modular diferentes momentos dos estados emocionais. Assim, este trabalho propõe realizar uma análise das conectividades neurais, durante aplicação de estratégias de regulação emocional utilizando aquisições de EEG. A aquisição dos sinais EEG, foi realizada durante o experimento, na qual dispôs de 60 participantes adultos utilizando imagens e instruções de regulação emocional para modificar ou controlar os estados emocionais ao longo do experimento. Na instrução *Neutral* o participante deve se permitir sentir a emoção ao visualizar a imagem. Na instrução *Reappraise* o participante deve tentar reduzir o impacto emocional da imagem, buscando uma maneira de reinterpretar ou reavaliar o apresentado na imagem. Na instrução *Suppress* o participante busca maneiras de anular a ação emocional sentida. Análises de conectividade cortical foram feitas utilizando o método Índice ponderado de atraso de fase (wPLI) e os efeitos das instruções foram avaliados por meio do teste de permutação. Os resultados mostraram maiores conectividades ao avaliar a banda de frequências *theta*, em especial entre as regiões frontais, centrais e parietais, apresentando valores de correlação acima de 0,6. Os testes de permutação para a banda *theta*, mostraram a interação entre diferentes regiões para cada par de instruções, no qual a permutação entre as instruções *NeutralXSuppress* em comparação com as demais, demonstrou mais correlações, porém na média mais fracas. O teste apresentou também permutações de valor mais alto nas instruções *NeutralXNegative* e, em contrapartida, nas permutações entre *NeutralXReappraise* valores mais baixos. Em que os valores mais altos demonstram áreas em que são mais ativas quando realiza técnicas de regulação emocional. Este trabalho é parte de um estudo maior desenvolvido na *Escuela de Psicología, Universidad Católica del Norte* no Chile, o qual busca entender fisiologicamente, como se dá a regulação emocional, visando desenvolver melhores tratamentos de condições psicológicas do ser humano impactados por emoções negativas.

Palavras-chaves: Regulação emocional. Apego. EEG. *Weighted Phase Lag Index*. *Permutation test*.

Abstract

The emotions are a fundamental component of human life, they act in our day-to-day lives in social interactions, in the regulation of behavior and they have an impact on our health. The emotional imbalance, caused by a disorder of generated emotions, affects the capacity to carry out tasks and, for this reason we need ways to control it through the mechanism of emotional regulation, which is defined as the capacity to exercise control or modulate different moments of emotional states. This study proposes an analysis of neural connectivity during the application of emotion regulation strategies using EEG acquisitions. EEG signals were acquired during the experiment, which involved 60 adult participants using images and emotional regulation instructions to modify or control emotional states throughout the experiment. In the *Neutral* instruction, the participant must allow themselves to feel the emotion when viewing the image. In the *Reappraise* instruction, the participant must try to reduce the emotional impact of the image by finding a way to reinterpret or re-evaluate what is presented in the image. In the *Suppress* instruction, the participant looks for ways to cancel the emotional action felt. Analyses of cortical connectivity were carried out using the method *Weighted Phase Lag Index* and the effects of the instructions were assessed using the *Permutation test*. The results showed greater connectivity when evaluating the theta frequency band, especially between the frontal, central and parietal regions, with connection values over 0,6. The permutation tests for the theta band showed the interaction between different regions for each pair of instructions, in which the permutation between the *NeutralXSuppress* instructions compared to the others showed more correlations, but on average weaker. The test also showed higher value permutations in the *NeutralXNegative* instructions and, conversely, lower values in the permutations between *NeutralXReappraise*. The higher values show areas in which they are more active when performing emotion regulation techniques. This work is part of a larger study carried out at the *Escuela de Psicología, Universidad Católica del Norte* in Chile, which seeks to understand physiologically how emotional regulation takes place, with a view to developing better treatments for psychological conditions of human beings impacted by negative emotions.

Key-words: Emotional regulation. Attachment. EEG. Weighted Phase Lag Index. Permutation test.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo de processo de regulação emocional	14
Figura 2 – Média coerente	18
Figura 3 – Gráfico de Conectividade e Matriz de Conectividade	19
Figura 4 – Função densidade de probabilidade	22
Figura 5 – Fluxograma de funcionamento do experimento	27
Figura 6 – Localização dos eletrodos do sistema EEG	27
Figura 7 – Matrizes de conectividade na banda θ para cada condição de teste . . .	31
Figura 8 – Matrizes de conectividade na banda α para cada condição de teste . .	32
Figura 9 – Matrizes de conectividade na banda β para cada condição de teste . . .	34
Figura 10 – Teste de Permutação Neutral X Negative	35
Figura 11 – Teste de Permutação Neutral X Reappraise	36
Figura 12 – Teste de Permutação Neutral X Suppress	37

Lista de tabelas

Tabela 1 – <i>Permutation Test para as instruções Neutral X Negative</i>	35
Tabela 2 – <i>Permutation Test para as instruções Neutral X Reappraise</i>	36
Tabela 3 – <i>Permutation Test para as instruções Neutral X Suppress</i>	37

Lista de abreviaturas e siglas

EEG	Eletroencefalograma
wPLI	Índice ponderado de atraso de fase
PLV	Valor bloqueio de fase

Lista de símbolos

Θ	Letra grega Theta
α	Letra grega Alpha
β	Letra grega Beta
γ	Letra grega Gama
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa e Relevância	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivo Especificos	12
1.3	Organização e estrutura	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Regulação emocional	13
2.2	Eletroencefalografia	15
2.2.1	EEG	15
2.2.2	Eletrodos	15
2.2.3	Artefatos	17
2.2.4	Promediação (Média Coerente)	17
2.3	Conectividade	18
2.3.1	Valor bloqueio de fase (<i>phase locking value</i>)	20
2.3.2	Índice ponderado de atraso de fase (<i>Weighted Phase Lag Index</i>)	21
2.3.3	<i>Permutation Test</i>	21
2.4	Oscilações cerebrais	22
2.5	Trabalhos Relacionados	23
2.6	Software	24
2.6.1	Brainstorm	24
2.6.2	EEGLab	24
3	MÉTODO	25
3.1	Participantes do estudo	25
3.2	Protocolo Experimental	25
3.3	Aquisições de sinais	27
3.4	Pré-processamento dos Sinais	28
3.4.1	Sinais EEG	28
3.4.2	Média Coerente	28
3.5	Conectividade	28
3.6	Teste de permutação	29
4	RESULTADOS	30
4.1	Matrizes de Conectividade	30

4.1.1	Banda θ	30
4.1.2	Banda α	31
4.1.3	Banda β	33
4.2	Permutation Test	34
4.2.1	<i>Neutral X Negative</i>	34
4.2.2	<i>Neutral X Reappraise</i>	35
4.2.3	Neutral X Suppress	36
5	CONCLUSÕES	38
	Referências	39

1 Introdução

As emoções são parte fundamental da vida humana, elas agem no cotidiano do ser humano nas interações sociais, na regulação do comportamento e impactam a saúde. Uma das funções que as emoções desempenham é interromper o comportamento em curso quando um evento ou estímulo encontrado é altamente significativo pessoalmente e merece a atenção ou exige que a pessoa esteja preparada para a ação (FRIJDA, 1986; GROSS, JAMES J., 1998). De acordo com James J. Gross (1998) a regulação emocional é a capacidade de exercer controle ou modular estados emocionais.

O desequilíbrio emocional causado por uma desordem de emoções geradas, afeta a capacidade de realizar tarefas e por isso são necessários meios para controlar. A maneira de relativizar as emoções é denominada regulação emocional, na qual age na experiência subjetiva, a intensidade de ativação fisiológica, bem como a expressão das emoções, e também gera impacto na saúde das pessoas (GROSS; THOMPSON, 2007; KOOLE, 2010; KRING; SLOAN, 2009).

É interessante para as ciências cognitivas, compreender como a regulação das emoções influenciam o indivíduo, nas suas respostas neurais e mensurar as bases dessa ação. Sendo assim há diversos modos de estimar as respostas neurais, como a ressonância magnética funcional (fMRI), que utiliza a oxigenação do sangue para mensurar as atividades cerebrais, e a utilização do campo eletromagnético na região do cérebro para mensurar as atividades cerebrais tendo como as principais ferramentas a Eletroencefalografia (EEG) e Magnetoencefalografia (MEG). A Eletroencefalografia (EEG) tem relativo baixo custo em comparação com as outras ferramentas e seu sinal tem resolução temporal relativamente alta. Dessa forma tem-se uma maneira de extrair informações necessárias para realização de pesquisas cognitivas e, assim, desenvolver tratamentos para condições psicológicas.

1.1 Justificativa e Relevância

As emoções são involuntárias e age de maneiras distintas no ser humano, com isso é necessário modular ou controlar a ação das emoções que é a regulação emocional. Uma das maneiras de mensurar as atividades neurais quando se incide as emoções, é a eletroencefalografia(EEG) capturando a atividade neurais por meio da diferença de potencial elétrico. Com sinais EEG é possível verificar diversas características do cérebro como as oscilações cerebrais e a conectividade entre diferentes áreas.

Ao analisar os sinais EEG e avaliar a conectividade dos mesmos em diferentes oscilações cerebrais, permite observar mecanismos neurais envolvidos a regulação emocional.

Assim, é possível desenvolver tratamentos para condições psicológicas e justifica-se a realização da investigação proposta neste trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é realizar a análise de conectividade neural durante a aplicação de estratégias de regulação emocional utilizando sinais de EEG capturados durante um experimento desenvolvido pela Escuela de Psicología, Universidad Católica del Norte no Chile.

1.2.2 Objetivo Especificos

- Estudar técnicas e ferramentas de processamento de sinais biomédicos.
- Implantar estratégias de pré-processamento de sinais de EEG e organização dos sinais para realização do experimento.
- A partir das técnicas do *Weighted Phase lag Index* e do *Permutation*, obter informações sobre a conectividade neural durante um experimento de regulação emocional a fim de possibilitar, futuramente, entender melhor os mecanismos cerebrais envolvidos nesse processo de regulação.

1.3 Organização e estrutura

Este trabalho foi organizado da seguinte forma: o capítulo 1 apresentou a contextualização do estudo proposto e os objetivos do trabalho. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica e as principais ferramentas utilizadas na investigação proposta. O capítulo 3 descreve o experimento realizado e como os dados das aquisições foram processados. O capítulo 4 apresenta e discute os resultados encontrados com as matrizes de conectividades e, finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para investigações futuras com os dados coletados no experimento.

2 Fundamentação teórica

2.1 Regulação emocional

Cada uma das emoções fundamentais têm propriedades motivacionais únicas de importância crucial para o indivíduo e para a espécie, e cada uma acrescenta a sua própria qualidade especial à consciência à medida que mobiliza energia para experiências físicas ou cognitivas. Uma emoção intensa pode ser considerada como um estado especial de consciência, experienciado como altamente desejável ou altamente indesejável (IZARD, 2013).

As definições de emoções são bastante divergentes entre autores, pois age de maneiras diferentes no ser humano. Sua natureza, que age no ser, pode ser descrita em três componentes segundo Hockenbury e Hockenbury (2011): a experiência subjetiva, a resposta fisiológica e resposta comportamental. A experiência subjetiva das emoções descreve que em diferentes momentos, ao sentir a mesma emoção, ou combinação de emoções, aquilo que é sentido varia. A resposta fisiológica explica a forma em que o corpo reage à emoção sentida, por exemplo, a palpitação cardíaca quando se sente medo ou as lágrimas quando se sente triste. A resposta comportamental pode ser descrita como a expressão da emoção, porém pode sofrer influências externas como por exemplo as emoções de raiva, que não são bem aceitas ao serem expressas na sociedade.

As emoções afetam drasticamente o cotidiano dos indivíduos em seus relacionamentos, seus planos e sua história como um todo. Estão diretamente relacionadas às tomadas de decisão dependendo do que é sentido no momento impactando nas ações, estado de atenção, memória e entre outros fatores.

As investigações psicológicas da regulação emocional concentraram-se nas defesas psicológicas (FREUD, 1977), no estresse e no enfrentamento (LAZARUS, 1966), no apego (BOWLBY, 1940) e na autorregulação (MISCHEL; CANTOR; FELDMAN, 1996), James J Gross (2013) explora esses trabalhos para formular a sua teoria de regulação emocional. As motivações humanas estão diretamente relacionadas às emoções e através da história é um motivo de estudos de grandes pensadores antigos como Sócrates e contemporaneamente pelo Sigmund Freud (BERCHT, 2001).

A regulação emocional pode ser definida como modular quais emoções o indivíduo apresenta, quando ele apresenta e como ele apresenta ou expressa essas emoções (GROSS, JAMES J., 1998). Segundo James J Gross (2013) as características centrais da regulação emocional são ativação de um objeto para modificar o processo de gerar emoções, as relações dos processos para modificar a trajetória das emoções e o impacto da dinâmica

emocional ao aplicar o objeto.

O processo de regulação emocional proposto por [James J. Gross \(1998\)](#) se divide em cinco famílias como ilustrado pela Figura 1. O movimento da esquerda para direita na Figura 1 representa o deslocamento ao longo do tempo de: uma situação específica é selecionada, modificada, atendida, avaliada e gera um conjunto de respostas específicas. Porém, há um dinamismo na geração de emoções e na regulação emocional na qual é sinalizada pela seta de realimentação na Figura 1 desde a resposta emocional para a situação ([GROSS, JAMES J., 1998](#)).

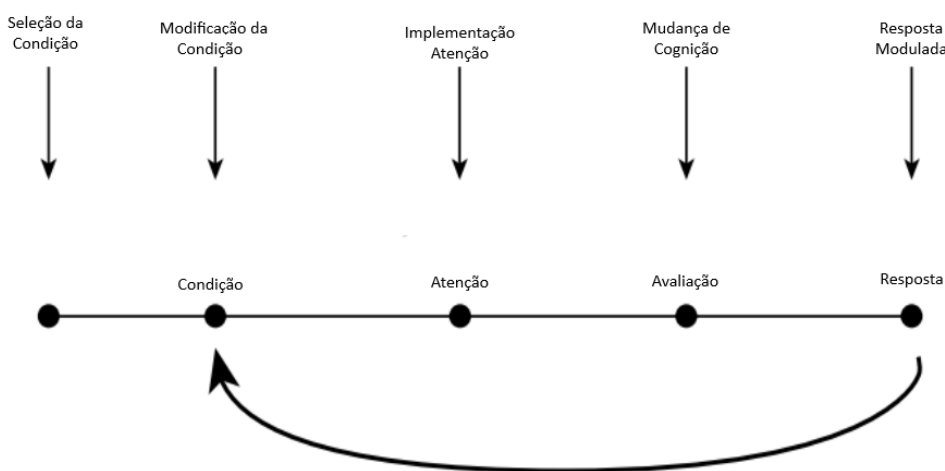


Figura 1 – Modelo de processo de regulação emocional
Fonte: adaptado de [James J. Gross \(1998\)](#)

As estratégias de regulação emocional, são relacionadas com as cinco famílias. Segundo [James J. Gross \(1998\)](#) uma das melhores abordagens de regulação emocional é a que envolve a seleção de condição no qual o individuo procura uma situação confortável para dar origem a emoções desejáveis, tem-se também a modificação de uma determinada situação para alterar o impacto emocional podendo ser criada outra situação diferente.

Para [Rothbart, Ziaie e O'Boyle \(1992\)](#) um dos processos reguladores emocionais que aparece durante o devolvimento infantil, é o desdobramento de atenção no qual se define como a direcionar a atenção a determinada situação para influenciar as emoções. A forma mais comum de desdobramento de atenção é a distração em que [Thiruchselvam, Hajcak e Gross \(2012\)](#) define como induzir a mudança de foco interna, na qual o individuo trás para si pensamentos ou memorias para compor o estado emocional desejado.

Outra estratégia de regulação emocional refere-se a modificar a forma como avalia a situação, denominado mudança cognitiva. Uma das técnicas de mudança cognitiva é a reavaliação, na qual [Samson e Gross \(2012\)](#) relata que é usada para diminuir emoções negativas, podendo também ser usada para diminuir ou aumentar o impacto emoções negativas ou positivas. A reavaliação é a estratégia de regulação emocional, na qual o

indivíduo tenta pensar de forma diferente ao que está experienciando para alterar a resposta emocional [James J Gross \(2013\)](#).

Há também o processo de regulação emocional, que acontece quando se inicia a resposta emocional. Chamado modulação de resposta, [James J Gross \(2013\)](#) uma forma de modulação de resposta no qual envolve a regulação do comportamento expressivo da emoção, nomeado supressão expressiva, em que o indivíduo tenta inibir o comportamento de expressar emoções negativas ou positivas.

2.2 Eletroencefalografia

2.2.1 EEG

Um sinal EEG é uma medição das correntes iônicas que fluem durante as excitações sinápticas dos dendritos de muitos neurônios piramidais no córtex cerebral ([SANEI; CHAMBERS, 2007](#)).

A eletroencefalografia utiliza-se de campos eletromagnéticos para mensurar as atividades cerebrais com baixo custo e alta resolução temporal. É um método não invasivo utilizando eletrodos, geralmente presentes em uma touca que é colocada sobre o couro cabeludo. Assim, os eletrodos captam as flutuações de tensão resultante das mudanças sincronizadas dos potenciais pós-sinápticos dos neurônios piramidais paralelos ao córtex e perpendicular ao crânio ([SANEI; CHAMBERS, 2007](#)). Os registros do sinal de EEG é a representação das atividades cerebrais contínuas e espontâneas que são medidas ao longo do couro cabeludo ou na superfície do córtex no domínio do tempo ([SANEI; CHAMBERS, 2007](#)).

Segundo [Kothe, Makeig e Onton \(2013\)](#) as áreas corticais responsáveis pelas emoções podem ser estudadas por sinais de EEG, contudo o registro de EEG tem baixa resolução espacial para realização do estudo. Os sinais EEG podem ser relacionados com as classificações de estados emocionais ([MURUGAPPAN; RAMACHANDRAN; SAZALI, 2010](#)).

Sistemas EEG são simples e baratos em relação a outros modos de captura de atividade neural, contudo a baixa resolução espacial e a incidência de artefatos são pontos negativos dos sistemas EEG. Os sinais de EEG são registrados juntamente com os artefatos involuntários do corpo como a atividade muscular, o piscar dos olhos e de interferências eletromagnéticas, sendo assim, é necessário o pré-processamento do sinal para se trabalhar com os sinais de EEG ([KLEMM; HAUEISEN; IVANOVA, 2009](#)).

2.2.2 Eletrodos

Os sinais EEG são as assinaturas das atividades neurais. Eles são capturados por sistemas de EEG com múltiplos eletrodos, seja de dentro do cérebro, sobre o córtex, sob o

crânio ou em determinados locais do couro cabeludo, e podem ser registrados em diferentes formatos (SANEI; CHAMBERS, 2007). Os eletrodos captam correntes iônicas fluidas nos neurônios resultadas pelas excitações sinápticas nos dendritos. As correntes geram campos eletromagnéticos que são medidos por sistemas de EEG. Os resultados e a qualidade dos sinais capturados depende da escolha correta dos tipos de eletrodos (SANEI; CHAMBERS, 2007), eles são basicamente pequenas placas metálica. Porém, há diversas classificações dos eletrodos, sendo elas:

- Descartáveis - tipo com gel ou sem gel
- Retilizáveis de ouro, prata, aço inoxidável ou estanho
- Tipo faixa e tipo capas
- Eletrodos à base de solução salina
- Eletrodos tipo agulha

Os eletrodos mais utilizados são os salinos que são constituídos por discos de pratas banhados com sal (SANEI; CHAMBERS, 2007). Esse modelo de eletrodo tem, em comparação ao demais modelos, menor impedância, menor potencial de meia célula (acúmulo de cargas elétricas em cada lado da interface do eletrodo com a superfície), tem a vantagem de serem não-polarizados, desempenho satisfatório em baixas frequências, tendo também facilidade no processo de aquisição de sinais em corrente contínua, porém com exigência de limpeza regular.

Nas aquisições de sinais feitas por múltiplos eletrodos tem-se a necessidade de garantir o posicionamento dos mesmo no couro cabeludo e para isso utilizam-se toucas de fixação de eletrodos, porém, para obter um melhor desempenho na aquisição, deve-se evitar a utilização de vários tipos de eletrodos ou eletrodos de materiais diferentes, o que acarreta em desvios de corrente contínua levando assim distorções na razão sinal-ruído. As distorções nos sinais EEG se dão principalmente pela impedância pele-eletrodo. O principal fator de distorções são materiais indesejados entre o eletrodo e a área superficial na qual ele faz interface.

O posicionamento dos eletrodos no couro cabeludo é baseado no sistema internacional 10-20 (HERWIG; SATRAPI; SCHÖNFELDT-LECUONA, 2003), no qual o couro cabeludo é subdividido em diversos arcos utilizando pontos de referência: Násio (Ns), Ínio (In) e os pontos pré-auriculares esquerdo e direito (A1 e A2 respectivamente), os chamados vértices (Cz, Oz, Pz, Fz) são os pontos de intersecção dos arcos longitudinais e laterais.

Existem dois modos principais para aquisição dos sinais EEG: o referencial e diferencial (LI; CHENG; GUO, 2021). Na aquisição feita pelo modo diferencial o amplificador diferencial (um circuito eletrônico) recebe o sinal de dois eletrodos e a diferença resultante

é o sinal de EEG. Já na aquisição realizada pelo modo referencial, uma das entradas do amplificador diferencial é utilizada para o sinal de referência do eletrodo de referência (REF) que podem ser posicionados nos pontos de vértice.

2.2.3 Artefatos

Os sinais EEG sofrem interferências chamadas *artefatos*. Esses distúrbios podem ser internos (do indivíduo) ou externos (do ambiente) (SANEI; CHAMBERS, 2007). Para realizar análises em sinais EEG o sinal captado pelos eletrodos deve sofrer tratamento. O tratamento consiste em amplificar o sinal dos eletrodos, converter o sinal analógico em digital e depois realizar a filtragem (KOTTE; DABBAKUTI, 2020). Os tipos de filtro utilizados para realizar os tratamentos de sinais são o passa-alta, passa-baixa, passa-faixa ou *notch*, dependendo da banda de frequências nas quais a análise necessita e os tipos de artefatos presentes no sinal.

A identificação dos artefatos depende principalmente do entendimento da sua origem, o método de remoção e medidas para o controle de incidência. Alguns artefatos são bastante evidentes como ruídos de interferência da rede elétrica, podendo estar no sinal EEG e que são facilmente identificados na análise em frequência do sinal gerando um pico na frequência fundamental e picos menores nas harmônicas. Outro artefato de fácil identificação é aquele devido ao piscar dos olhos. Os sinais EEG com esse distúrbio geram sinal dez vezes maior em amplitude que a média dos sinais e duram cerca de 400 ms.

Existem também artefatos relacionados a movimentos dos olhos no qual a movimentação da retina e da córnea ao invés do único movimento de córnea como o artefato de piscar os olhos. A maior diferenciação entre os artefatos é a maior amplitude de sinal e sua frequência menor. Mesmo que os olhos estejam fechados na aquisição, os sinais EEG sofrem interferências dos movimentos dos olhos gerando artefatos significativos.

Os movimentos musculares tanto voluntariamente quanto involuntariamente também geram artefatos que afetam as análises dos sinais EEG (JIANG; BIAN; TIAN, 2019). Alguns exemplos de movimentos voluntários são o movimento de mandíbula e sobrance-lhas os quais se manifestam intermitentemente no sinal EEG na forma de ruído de alta frequência. Para amenizar os efeitos desses artefatos é recomendado ao indivíduo que evite realizar tais movimentos. Para os artefatos de movimentos involuntários, como os batimentos cardíacos, existem sistemas de aquisição de EEG que já conseguem realizar o tratamento desses artefatos.

2.2.4 Promediação (Média Coerente)

A coerência no EEG é uma medida da correlação temporal dos sinais cerebrais registrados em diferentes locais do couro cabeludo, refletindo a comunicação entre diferentes

regiões corticais. A média coerente é uma técnica aplicada na detecção de respostas eletrofisiológicas a estímulos semelhantes. Ela se fundamenta na média de respostas cerebrais a estímulos quase idênticos, aplicados em momentos distintos. É comumente utilizada como uma técnica padrão para identificar respostas evocadas a partir de segmentos de sinal EEG, representados por $y[k]$, que estão sincronizados com o início do estímulo, como ilustrado na Figura 2. Assim, evidencia-se a resposta evocada pelo estímulo enquanto se atenua o ruído, característico dos EEGs.

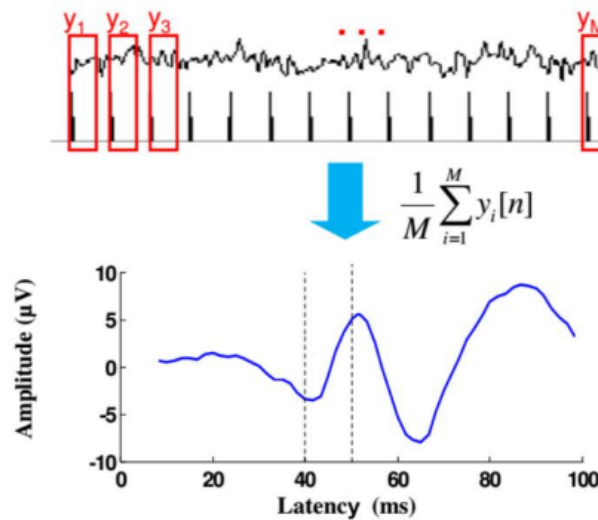


Figura 2 – Média coerente
Fonte: adaptado de [Melges \(2013\)](#)

A principal limitação do EEG é a sua fraca resolução espacial, que dificulta a relação entre a atividade eléctrica registada no couro cabeludo e as fontes cerebrais específicas. Esta situação ocorre porque existem mais fontes cerebrais em comparação com o número de eléctrodos que cobrem o couro cabeludo numa aquisição de EEG. ([SANTANA, 2020](#)).

2.3 Conectividade

As funções cerebrais necessitam de interações entre os componentes das populações neurais ou das células individuais, com as funções é possível caracterizar e analisar as atividades cerebrais ([FRISTON; HARRISON; PENNY, 2003](#)).

A ideia do localizacionismo, responsável por várias conclusões acerca do funcionamento cortical no século XIX, é centralizada na concepção de que o cérebro é dividido em áreas distintas responsáveis por diferentes funções. O localizacionismo tem relação com os princípios de organização funcional, que são segmentados em dois princípios: integração funcional e especialização funcional. A especialização funcional propõe que uma área cortical está especializada em efetuar um dado processamento cognitivo e segregando no

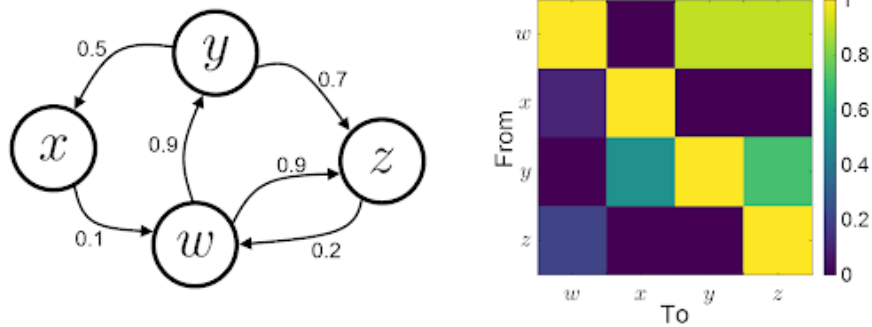


Figura 3 – Gráfico de Conectividade e Matriz de Conectividade
Fonte: [Shahabi et al. \(2023\)](#)

córtex de forma anatômica a especialização, com isso, a especialização funcional rege o agrupamento de células com as mesmas características funcionais.

O princípio de integração funcional pode ser deduzido como as interações entre populações neuronais especializadas em uma determinada função e o estímulo ou tarefas cognitivas que se relacionam com as interações. A integração funcional tende a ser relacionada a explicar as correlações entre diversas áreas do cérebro realizando uma tarefa. Esse é o pilar da integração funcional denominado conectividade. Segundo [Thatcher et al. \(2016\)](#) conectividade cerebral pode ser dividida em três tipos:

- Conectividade Estrutural que é medida pela ressonância magnética estrutural
- Conectividade Funcional na qual é medida pela coerência do EEG e pelas correlações de fMRI entre regiões do cérebro.
- Conectividade Efetiva em que é a medida da magnitude e direção do fluxo de informação entre duas ou mais regiões cerebrais conectadas

A análise de conectividade cerebral é o estudo de diferentes regiões do cérebro que trabalham de maneira coordenada, sendo fundamentalmente crucial para o entendimento dos processos cognitivos, o resultados das análises podem ser representados pelo gráfico de conectividade da Figura 3 (esquerda), sendo que cada nó representa uma área do cérebro. Há também a representação dos resultados pela matriz de conectividade, ilustrado na Figura 3 (direita).

Há uma diversidade de métodos para realizar a análise da conectividade. A *coerência* reúne o valor complexo que relaciona os sinais lineares no domínio de frequência. Outro método é o da casualidade de Granger, que relaciona as correlações lineares entre séries temporais e testa a previsão do sinal, valor do bloqueio de fase, entre outros.

Algumas definições matemáticas serão apresentadas para representar os sinais no domínio da frequência de forma alternativa, em que um sinal $x[n]$ discreto pode ser

descritos por uma série infinitas de senoides complexas no tempo discreto graças a sua transformada de Fourier de tempo discreto dada por:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\omega n} \quad (2.1)$$

em que $\omega = 2\pi f$ representa a frequência em rad/s e f a frequência em Hz.

Um sinal discreto no tempo tem sua Transformada de Fourier de tempo discreto periódica, a qual pode ser parametrizada em uma faixa de 2π . A equação ainda estando em tempo discreto, continua no domínio da frequência, e para ser implementada em computadores, necessita ser discretizada convertendo-a em Transformada de Fourier Discreta. A Transformada de Fourier Discreta do sinal $x[n]$ com n amostras é chamada de $X(k)$ e dada por:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j(\frac{2\pi}{N})nk} \quad (2.2)$$

onde $k=[0,\dots,N-1]$ denota a frequência discreta.

A Transformada de Fourier Discreta compreende partes das transformadas de Fourier anteriores e mapeia um sinal de comprimento n em n coeficientes na frequência discreta. Utilizando o *software MATLAB* para implementação digital da Transformada de Fourier Discreta é possível utilizar a função para a realização da Transformada Rápida de Fourier por meio do comando `fft()`.

2.3.1 Valor bloqueio de fase (*phase locking value*)

No método de análise de conectividade denominado valor de bloqueio de fase (*phase locking value*) tem-se uma métrica que é definida como o tamanho do vetor médio de vários vetores unitários, tendo um ângulo de fase o qual é diferença entre duas séries temporais. Com isso, se o arranjo de diferenças de fase entre sinais é igual, esse vetor será zero. Contrapondo a isso tem-se que, se dois sinais estiverem fortemente acoplados, o comprimento dos vetores tende a 1. Tendo dois sinais de banda estreita obtidos pela transformada de Hilbert, obtém-se a seguinte representação matemática:

$$PLV = |E|e^{j\Delta\Phi(t)} \quad (2.3)$$

em que

$$\Delta\Phi(t) = \Phi_{\tilde{x}}(t) - \Phi_{\tilde{y}}(t) = \arg\left(\frac{\tilde{x}(t)\tilde{y}^*(t)}{|\tilde{x}(t)||\tilde{y}(t)|}\right) \quad (2.4)$$

Há algumas variantes desse método que são melhores em diferentes análises de sinais como a correção imaginária do valor de bloqueio de fase (ciPLV) , que corrige valores imaginários, e o índice ponderado de atraso de fase (wPLI), que demonstra a interferência do atraso e adiamento de fase ponderada.

2.3.2 Índice ponderado de atraso de fase (*Weighted Phase Lag Index*)

A variação do Valor de bloqueio de fase (PLV) denominado Índice ponderado de atraso de fase (wPLI) pode ser utilizado para realizar análises de sinais neurais. Usualmente ele é utilizado para determinar a conectividade funcional no cérebro em dados de eletroencefalografia (EEG) e magnetoencefalografia (MEG).

O wPLI é uma medida de conectividade funcional que foca na fase das oscilações neurais. Ele avalia a consistência ou a confiabilidade da diferença de fase entre dois sinais cerebrais em várias frequências, enquanto minimiza a influência de artefatos e volume condutivo (VINCK et al., 2011). O wPLI traz melhorias em relação ao PLV, pois reduz a influências de fontes comuns e efeitos de artefatos de volume condutivo, deixando uma melhoria na sincronização de fases, ou seja, se dois sinais têm associação, é determinada a relação temporal sólida nos mesmos especialmente em altas frequências. Matematicamente têm-se a Equação:

$$WPLI_{xy} = \frac{|E\{|\Im\{S_{xy}\}| \operatorname{sgn}(\Im\{S_{xy}\})\}|}{E\{|\Im\{S_{xy}\}|\}} \quad (2.5)$$

A expressão contém os valores do sinal das diferenças de fases $\operatorname{sgn}(\Im S_{xy})$ em que o peso significativo se dá pela parte imaginária $|\Im S_{xy}|$. Com isso quanto mais afastado do eixo real têm maior a influência no cálculo da conectividade. E também há a influência do denominador na expressão que atestam o wPLI de 0 a 1.

2.3.3 *Permutation Test*

Na comparação entre sinais de EEG de duas condições ou populações, com amostras independentes, permitem a realização do teste de permutação. Ao contrario de outros métodos paramétricos, o teste de permutação não requer que sua população seja distribuída de forma paramétrica, pelo contrario a população se distribui reamostrando os dados (CHAU et al., 2004).

Embora os testes de permutação sejam livres de uma distribuição de probabilidade, para que os testes sejam válidos, a suposição da permutabilidade nas observações é mantida (LEHMANN, 1959). A distribuição de valores são intercambiáveis entre dois conjuntos de dados, isso é interessante pois, assim, tem-se uma aproximação da distribuição de permutações.

O cálculo da proporção de permutações, resulta em uma estatística de teste maior que a observada, a qual é denominada “valor p”, como apresentado na Figura 4. Ao se obter para p o menor valor crítico (0,05), significa que as condições são significativamente diferentes (TADEL et al., 2022).

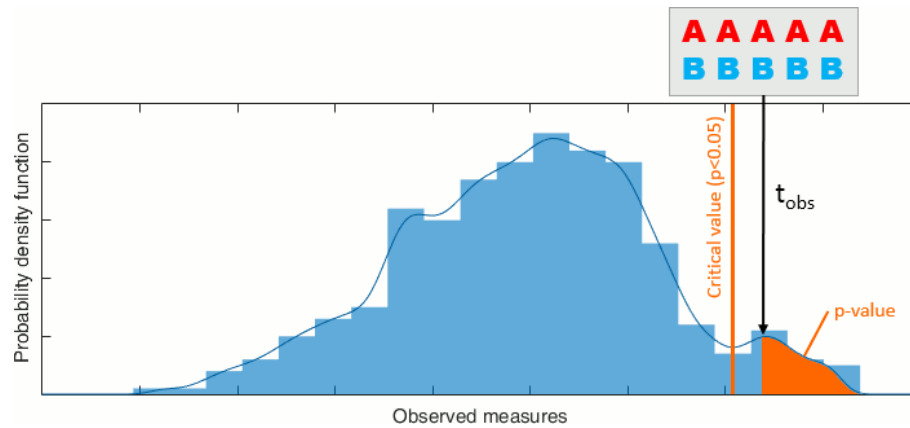


Figura 4 – Função densidade de probabilidade
 Fonte: Tadel et al. (2022)

Contudo, quando o número de permutações entre dois conjuntos são muito altos, o teste fica exaustivo. Assim, é utilizado a abordagem de Monte-Carlo em que se aproxima uma distribuição de permutação estatística. Isso é de grande valia para a realização do teste de permutação para diversas estatística de teste com distribuição conhecida ou não.

2.4 Oscilações cerebrais

O campo de estudo da neurociência compreende a variação elétrica no cérebro chamado análise de oscilações cerebrais. Estudos das oscilações cerebrais têm sido cruciais para compreender distúrbios neuropsiquiátricos, como epilepsia, esquizofrenia e transtornos do sono (ENGEL; DA SILVA, 2012).

Em 1930, Hans Berger criou o EEG para monitorar essa variação elétrica no crânio (GONÇALVES; WAECHTER, 2002). O EEG auxiliou a definir as frequências básicas de trabalho do cérebro *delta* (1-4Hz), *theta* (4-8Hz), *alpha* (8-13Hz), *beta* (13-30Hz) e *gamma* (30-70Hz).

As oscilações cerebrais são os ritmos intrínsecos do cérebro, representando a base da comunicação neuronal e desempenhando um papel crucial em várias funções cognitivas e comportamentais (SILVA, F. L. DA, 2013). As principais oscilações conhecidas são descritas por Fernando Lopes da Silva (2013) a seguir:

- Onda *Gamma* (γ) - São ondas que se relacionam com processos de estímulos visuais, táteis e auditivas, compreendendo as frequências entre 30hz e 70Hz.
- Onda *Beta* (β) - As ondas Beta são associadas às emoções principalmente medo, raiva, ansiedade, alerta, atenção seletiva, concentração e antecipação. As faixas de frequências são entre 13Hz à 30Hz.

- Onda *Alpha* (α) - São ondas relacionadas à saúde mental do indivíduo, memorização e criatividade, as ondas são compreendidas entre 8Hz a 13Hz.
- Ondas *Theta* (θ) - Ondas em faixas de frequência de 4Hz a 8Hz que estão relacionadas a memórias de curto-prazo.
- Ondas *Delta* (δ) - Ondas compreendidas entre frequências de 1Hz e 4Hz e representam o sono profundo.

2.5 Trabalhos Relacionados

A análise de sinais de EEG capturados quando se sofre a ação de estratégias de regulação emocional, é estudada em trabalhos como o desenvolvido por [Kraus et al. \(2024\)](#) intitulado “*The impact of culture on Emotion Suppression: Insights from an Electrophysiological Study of Emotion Regulation in Japan*”. Outro trabalho que aborda o mesmo tema é o desenvolvido por [Wu e Sun \(2018\)](#) intitulado “*Music-induced emotions and musical regulation and emotion improvement based on EEG technology*” e também o desenvolvido pelo [Wang et al. \(2024\)](#) intitulado “*EEG-based multivariate pattern analysis reveals the control mechanisms of emotion regulation through distancing*”.

[Kraus et al. \(2024\)](#) em seu trabalho explora a regulação emocional focada na supressão expressiva em japoneses, com a utilização do EEG para examinar o potencial positivo tardio (LLP). Segundo [Hajcak et al. \(2012\)](#) o potencial positivo tardio (LPP) é um componente dos potenciais evocados cerebrais relacionados a eventos (ERP) que fornece uma medida neural do processamento emocional.

O trabalho de [Wu e Sun \(2018\)](#) realizou a análise dos sinais EEG visando as regiões cerebrais, a intensidade emocional e a polaridade. Os sinais de EEG que ele utilizou foram adquiridos quando o participante teve a ação de agentes reguladores emocionais com os estimuladores emocionais.

O trabalho desenvolvido pelo [Wang et al. \(2024\)](#) explora as dinâmicas temporais das estratégias de controle emocional, comparando a regulação emocional proativa e a reativa. A conclusão obtida são que o proativo influenciou no momento regulador e o reativo determinou o efeito do regulador, porém mais fraco.

Nesses trabalhos eles não exploram a conectividade entre regiões cerebrais quando ocorre ação reguladora emocional. Assim busca-se explorar esse aspecto no presente trabalho.

2.6 Software

O MATLAB é um *software* que realiza cálculos numéricos, vetorial e matricial de maneira interativa e com alto desempenho. Sendo interativa, a ferramenta apresenta alguns diferenciais, tais como: ter uma linguagem de programação, uma IDE própria e um conjunto de bibliotecas e *toolboxes*, para simplificar o trabalho do usuário. Dentre elas, citam-se as *toolboxes* e aplicações para MATLAB que foram utilizadas neste trabalho, o Brainstorm e o EEGLab.

2.6.1 Brainstorm

A ferramenta de código aberto, criado de maneira colaborativa, em que seu principal objetivo é integrar cientistas de neurociência MEG/EEG com artifícios de qualidade testados pela comunidade da Brainstorm com meios de interface gráfica de usuário. O processamento de dados e visualização de dados de eletroencefalografia (EEG) e magnetoencefalografia (MEG), tendo ênfase em técnicas de estimativa de fonte cortical e associar dados anatômicos de ressonância magnética (MRI). Mais detalhes podem ser encontrados em <https://github.com/brainstorm-tools/brainstorm3>.

2.6.2 EEGLab

O toolbox de código aberto EEGLab utilizado em análises de dados eletrofisiológicos, o EEGLab tem a capacidade de importar diversos tipos de dados, pré-processar, visualizar e realizar análises. Mais detalhes podem ser encontrados em <https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>.

3 Método

3.1 Participantes do estudo

Para a realização do trabalho os sinais de EEG, foram adquiridos durante a realização do estudo *Emotion regulation strategies and the two-dimensional model of adult attachment: a pilot study* realizado por [Domic-Siede et al. \(2023a\)](#) com sessenta adultos, tanto homens quanto mulheres, entre 18 e 50 anos, com média de idade de 26,91 anos e desvio padrão de 8,81. O *software* utilizado para calcular o tamanho da amostra foi *G*Power* considerando o tamanho 0.52, valor alpha de 0.05 e poder do teste de 0.95. Os participantes não apresentaram visão ruim ou, se apresentavam, foi devidamente corrigida e evidenciaram não sofrer condições neurológicas e psiquiátricas. O registro de sinais foi aprovado pelo *Scientific Ethics Committee of the Universidad Católica del Norte* do Chile com termo de consentimento livre e esclarecido devidamente assinado e em cumprimento com os padrões éticos da APA no tratamento da amostra.

3.2 Protocolo Experimental

Os dados foram obtidos na realização de uma experiência para avaliar as duas dimensões do apego adulto: a ansiedade e a evitação., por meio de uma variação chilena validada por ([GUZMÁN-GONZÁLEZ et al., 2023](#)). A forma para responder é a escala likert com 7 pontos na qual: (1) discordo totalmente e (7) concordo totalmente, na qual as pontuações mais altas demonstram um nível de apego a ansiedade ou apego a evitação. A ideia de [Guzmán-González et al. \(2023\)](#) sobre o ECR-12 de variação chileno resguarda boa parte das propriedades psicométricas da versão original ECR ([BRENNAN; CLARK; SHAVER, 1998](#)).

A tarefa de regulação emocional foi adaptada de ([OCHSNER et al., 2004](#)), ([VRTIČKA et al., 2012](#)) e ([SCHLUMPF et al., 2019](#)), para avaliar a eficácia da realização de estratégias de regulação emocional. As imagens foram selecionadas no banco de imagens *International Affective Picture System* (IAPS) que apresentam características psicométricas adequadas para a população do estudo de acordo com [Jaime R Silva \(2011\)](#). As imagens apresentam condições experimentais de “*Natural* (Na), *Reappraise* (Reavaliar) e *Suppress* (Suprimir). O experimento foi realizado com 60 imagens nas quais: 45 imagens para induzir emoções negativas e 15 imagens para induzir neutralidade das emoções.

Para realizar o experimento os participantes passaram por uma sessão de treinamento com o intuito de serem habituados com o formato do experimento e a finalidade de cada condição a ser testada. As condições são constituídas por três blocos e três tentativas. Cada participante foi instruído previamente quanto a aparição das imagens e se as mesmas são negativas ou neutras. Foram instruídos também a qual ação eles teriam que realizar quando surgir a imagem e interagir. A seguir, descreve-se como foi cada interação:

- Instrução *Natural* - Na instrução *Natural* o participante deve observar a imagem e demonstrar a emoção sentida. Essa instrução foi subdividida em Natural-neu e Natural-neg a depender se a imagem apresentada era alusiva a emoções neutras ou negativas, respectivamente. Para facilitar a análise adiante, será utilizado o termo *Negative* para a instrução Natural-neg e *Neutral* para a Natural-neu.
- Instrução *Reappraise* - O participante observa a imagem e tenta reduzir o impacto emocional sentido com a aplicação da teoria de reavaliação cognitiva, ou seja, o(a) participante deve mudar a avaliação da situação ou reformular o significado de uma situação.
- Instrução *Suppress* - Quando a imagem aparece o participante é orientado a evitar expressar as emoções ou fugir do enfrentamento com as emoções.

Os participantes demonstraram por meio da escala Likert (1 a 7) a avaliação da emoção experimentada, e explicaram quais métodos escolheram para regular suas emoções.

As imagens são apresentadas de forma aleatória, para que, não haja condições consecutivas. A divisão das imagens para atender as condições As imagens são apresentadas de forma aleatória, para que, não haja condições consecutivas. A divisão das imagens para atender as condições (“Natural”, “Reavaliar” e “Suprimir”) foram divididas em 12 blocos com 5 imagens cada, totalizando 60 imagens, em que 15 para Reavaliar e suprimir, e 30 para natural . Porém a condição *Negative* é derivada da condição *Neutral* na qual as 30 imagens Naturais são dividida em 15 cada uma das condições *neutral e negative* [Domic-Siede et al. \(2023b\)](#). Com isso temos a sequência de apresentação das imagensna qual seguiu a seguinte ordem:

1. Por 3 segundos aparece um fundo cinza com uma cruz de fixação ao centro para focar o participante.
2. Por 2 segundos é apresentado em forma escrita qual das instruções deve ser realizada.
3. Por 1 segundo é apresentado novamente a cruz de fixação
4. Por 5 segundos é apresentada a imagem.

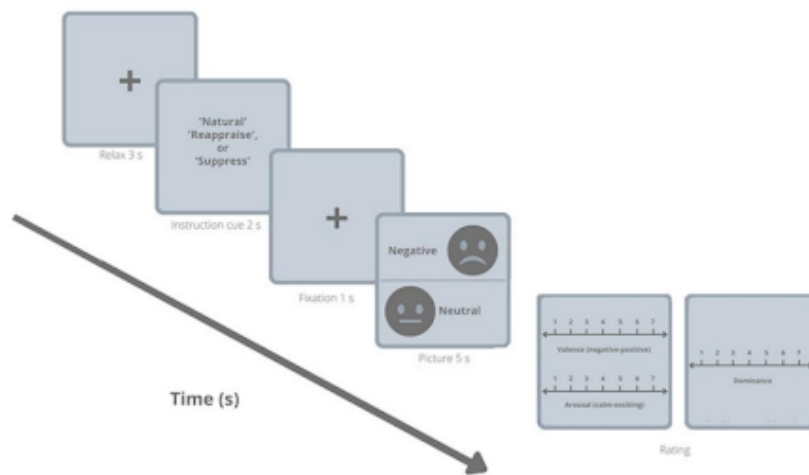


Figura 5 – Fluxograma de funcionamento do experimento
 Fonte: Domic-Siede et al. (2023a)

5. Por fim, é feita a avaliação na escala Likert.

A Figura 5 ilustra o fluxograma do experimento.

3.3 Aquisições de sinais

Os sinais EEG foram adquiridos utilizando uma solução de aquisição em tempo real da empresa ANT neuro, o sistema é composto por uma touca com capacidade de 32 eletrodos e o amplificador de 16 KHz com 32 canais. Os amplificadores garante fluxo de dados com alta qualidade de resolução 24 bits e taxa de amostragem de até 2048Hz. Os eletrodos foram distribuídos seguindo o esquema da Figura 6.

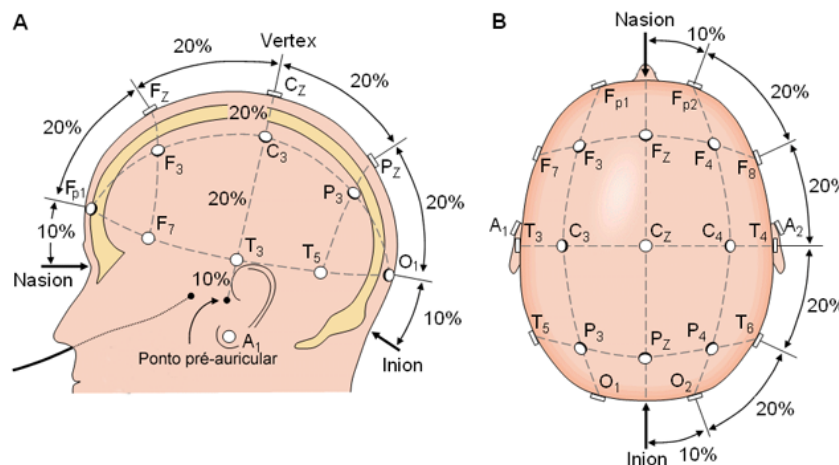


Figura 6 – Localização dos eletrodos do sistema EEG
 Fonte: Kandel (2022) ¹

O sistema EEG conta com 30 eletrodos e o espaçamento entre os adjacentes segue o padrão de 10% a 20% da distância total. Foi necessário a utilização de gel condutor para reduzir a impedância entre o eletrodo e o crânio. Os participantes estavam sentados em uma cadeira em frente ao computador em que são apresentadas as imagens. Os sinais foram capturados por 11 segundos pelo sistema de 30 canais do EEG com frequência de amostragem de 500 Hz. Mais detalhes sobre o experimento podem ser encontrados no trabalho de [Domic-Siede et al. \(2023a\)](#).

3.4 Pré-processamento dos Sinais

3.4.1 Sinais EEG

A análise dos dados de EEG foi realizada pelo MATLAB, e se inicia primeiramente utilizando a plataforma EEGLab. Para realizar o pré-processamento, os dados foram filtrados com filtros passa-baixa nas faixas de frequência de 1 Hz e 40 Hz. Em seguida, foi utilizada a análise visual para eliminar as épocas na qual foram encontrados artefatos. Foram separados os dados dos participantes em apenas 5 segundos na qual é apresentada a imagem e o restante foi descartada. Esse tempo é dividido no formato de -1s a 4s, esse formato foi escolhido pois demonstra o atraso para que a imagem apareça por completo, e, por inspeção visual, selecionou-se que a partir de 1s a 4s tem-se as melhores respostas de regulação emocional para a realização do estudo.

3.4.2 Média Coerente

OS dados de EEG são divididos da seguinte forma: 60 indivíduos com 40 sinais para cada instrução que foi realizada. E os dados foram colocados na plataforma *Brainstorm* para o processamento. O cálculo da média coerente é realizado por uma *toolbox* do *brainstorm*, na qual primeiramente foi realizado o cálculo de cada indivíduo utilizando os 40 sinais de EEG de cada instrução e, após isso, realizou-se o cálculo da média coerente utilizando a média das 60 pessoas para cada uma das instruções (grande média). Para o cálculo da conectividade tem-se 4 dados com 30 sinais de cada eletrodo para cada instrução.

3.5 Conectividade

Os dados das quatro tipos de instruções foram processados através do *brainstorm*, utilizando a ferramenta *connectivity*, no qual é selecionado o processo chamado *phase locking value* no qual têm a variação do PLV para análise de conectividade wPLI (*weighted phase-lag index*). A medida de conectividade do wPLI avalia a sincronia de fase entre os pares de eletrodos no total de 30 eletrodos para estimação do wPLI.

¹ <http://bit.ly/KandelSistema10-20>

As dimensões da matriz de conectividade são definidas pelo número de eletrodos, com isso, cada matriz de conectividade tem a dimensão 30x30 por instrução totalizando 900 atributos. A diagonal principal da matriz é descartada pois não representa pares de eletrodos, assim os atributos resultantes são 870 na matriz de conectividade. As matrizes de conectividade são simétricas e quadradas, assim é redundante que os valores acima e abaixo da diagonal principal são iguais e eliminando a redundância sobram um total de 435 ($870/2$) atributos.

Esse trabalho tem como objetivo a análise de sujeitos conscientes, portanto não são analisadas as oscilações de banda δ (1-4 Hz). As bandas γ (30 - 90 Hz) também são descartadas pois não se busca a capacidade de cognição dos participantes. A análise de conectividade culminou nas três bandas de frequências: θ (4-8 Hz), α (9-14 Hz) e β (15-30 Hz). O que resulta em 12 matrizes de conectividade, divididas em uma 3 matrizes para cada instrução e 1 por bandas de frequência.

3.6 Teste de permutação

O teste de permutação se desenvolve com uma matriz por instrução na banda de frequência θ (4-8 Hz), com o objetivo de buscar os eletrodos que têm valores correlacionáveis entre si, testando as seguintes condições: *Negative X Neutral*, *Reappraise X Neutral*, *Suppress X Neutral*.

O foco foi somente na banda θ , pois essa foi a banda que apresentou maiores valores nas matrizes de conectividade. Para realização do teste foram selecionadas as matrizes de conectividade de banda theta, no qual esses dados são processados pela *toolbox permutation test* que gera a matriz de permutação.

4 Resultados

São apresentados neste capítulo os resultados obtidos no estudo. Primeiramente, serão apresentadas as matrizes de conectividade que apontam os níveis de conexão entre os eletrodos por conjunto de indivíduos para cada uma das 4 instruções. A análise é baseada nas três faixas de frequências : θ , α e β . Em seguida, é discutido o resultado do teste de permutação entre as instruções nas faixas de frequência θ .

4.1 Matrizes de Conectividade

Os resultados a seguir são das 4 instruções do experimento de acordo com as faixas de frequência.

4.1.1 Banda θ

A figura traz os valores wPLI para as diferentes instruções calculados nas faixas de frequência theta (θ). De acordo com a Figura 7 as conectividades entre os eletrodos, são mais aparentes, ou seja, apresentam valores acima de 0.6 nos eletrodos localizados nas regiões centrais e parietais sincronizando aos eletrodos da região frontal.

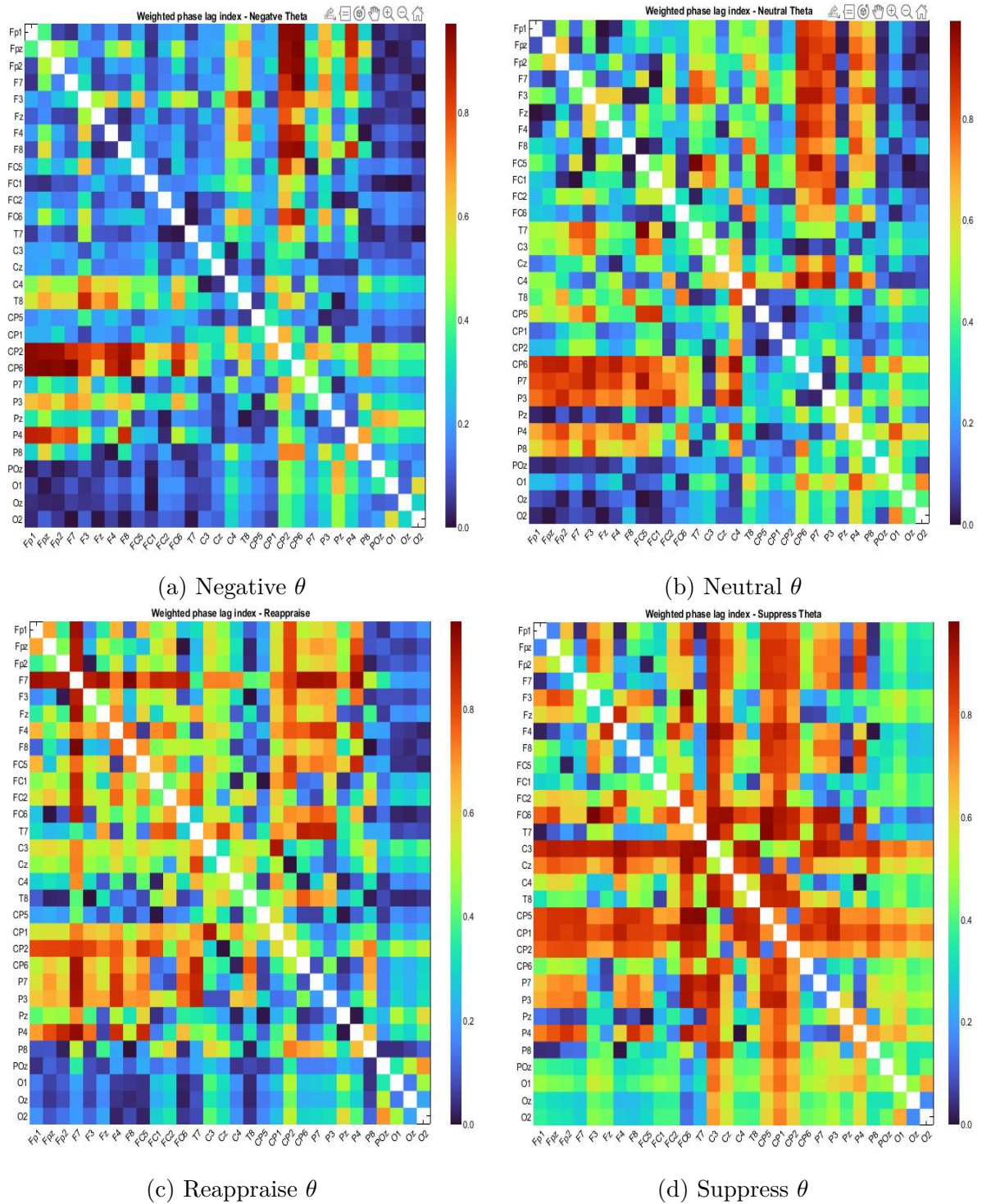


Figura 7 – Matrizes de conectividade na banda θ para cada condição de teste
 Fonte: Próprio autor

4.1.2 Banda α

A banda de frequência alpha(α), não apresenta correlações entre todas as instruções de forma tão clara quanto a banda θ como pode ser observado na Figura 8, porém é possível observar alguma correlação entre as instruções *Neutral*, *Reappraise* e *Suppress* entre os eletrodos localizados nas regiões occipitais e frontais com valores entre 0.6 e 1.

Também observa-se uma fraca correlação com valores abaixo 0.4 entre todas as instruções nos eletrodos localizados nas regiões parietais.

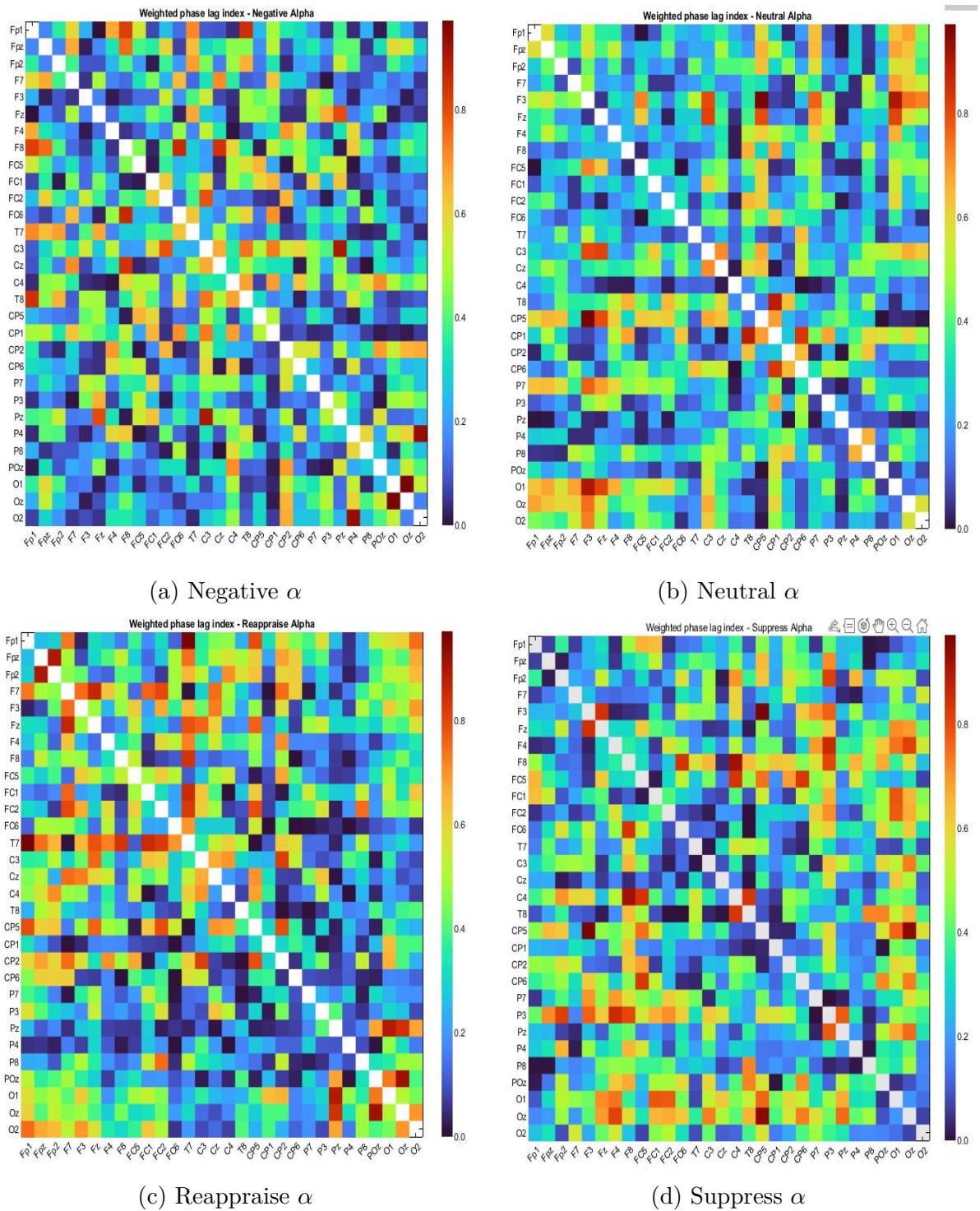


Figura 8 – Matrizes de conectividade na banda α para cada condição de teste
 Fonte: Próprio autor

4.1.3 Banda β

As matrizes de conectividade das instruções para a banda β , demonstra uma clara tendência a valores mais baixos de conexão, com valores tendendo para zero na maior parte da matriz na Figura 9. Porém, é possível observar algumas poucas conexões de valores acima de 0.4 principalmente localizados nas regiões occipitais e parietais na instrução *Neutral*, e apresentando algumas conexões não correlacionadas com as outras instruções.

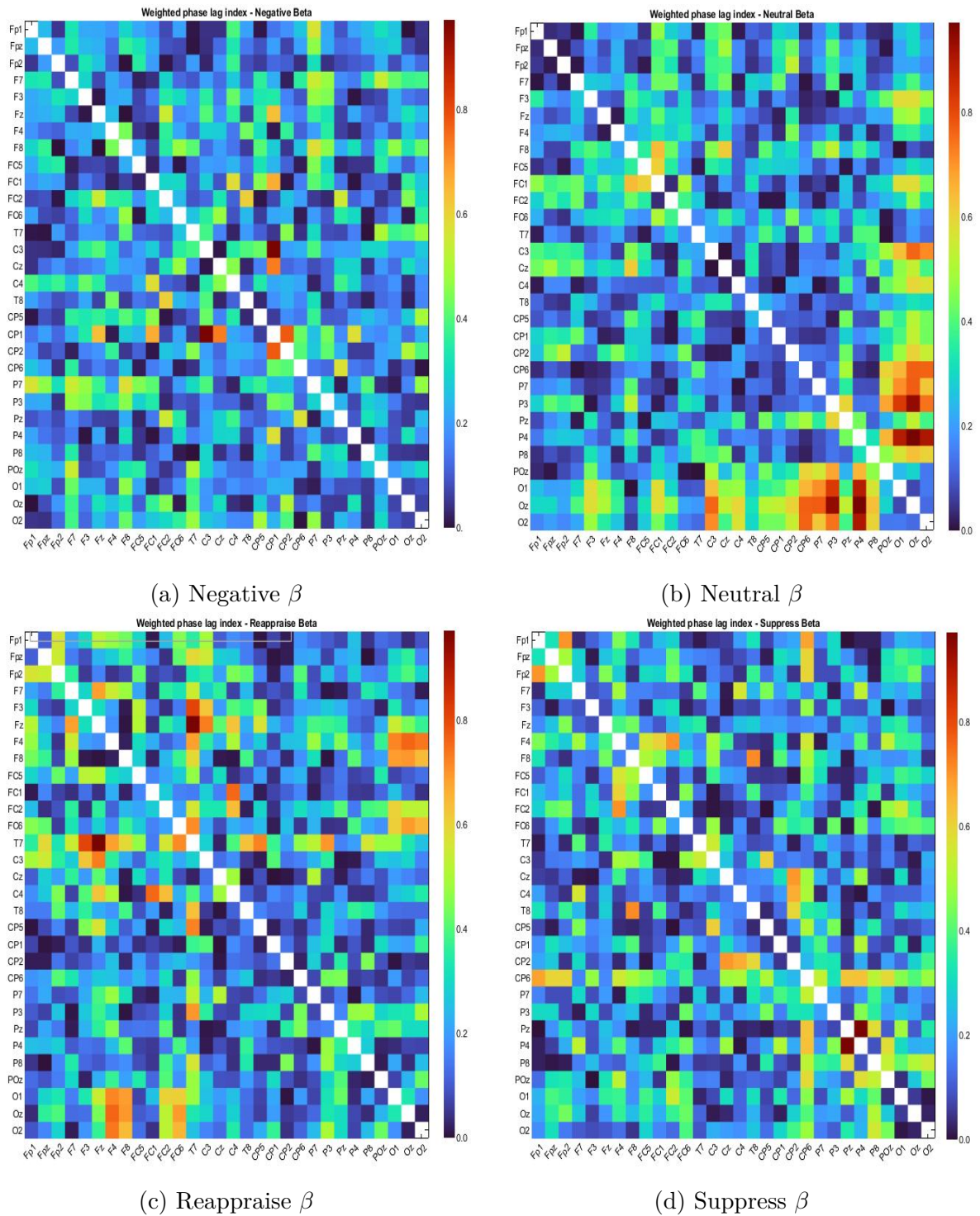


Figura 9 – Matrizes de conectividade na banda β para cada condição de teste
 Fonte: Próprio autor

4.2 Permutation Test

4.2.1 *Neutral X Negative*

O teste de permutação entre as amostras das instruções *Neutral* e *Negative* nas faixas de frequência θ , é ilustrado na Figura 10, e demonstra uma clara relação entre os

eletrodos P7-F4, CP5-O1, T8-02 e CP1-0z. A Tabela 1 apresenta os valores do teste.

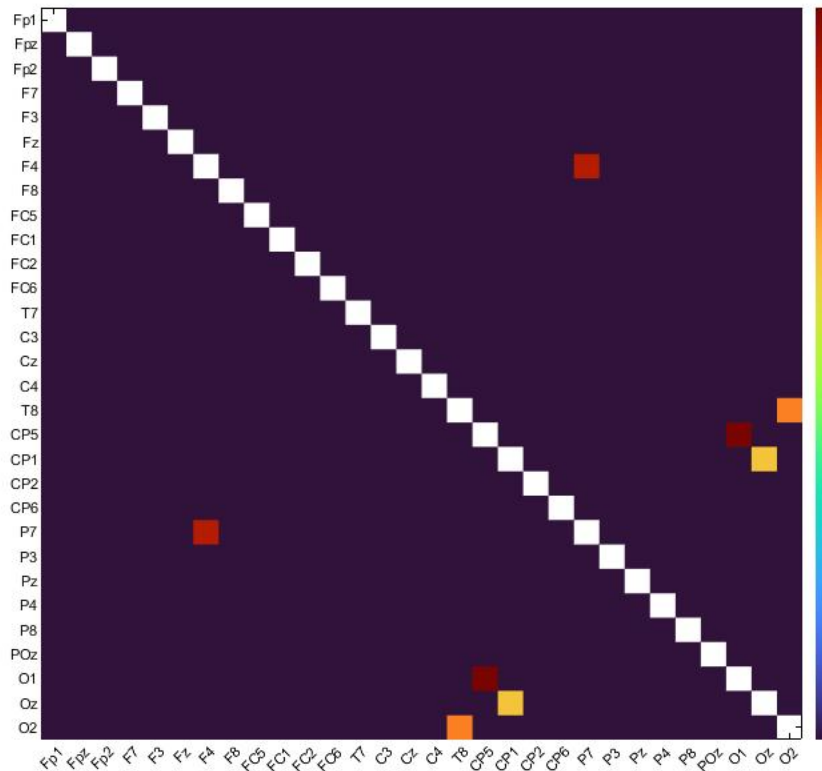


Figura 10 – Teste de Permutação Neutral X Negative
 Fonte: Próprio autor

Tabela 1 – *Permutation Test para as instruções Neutral X Negative*

Fonte: Próprio autor

	F4	T8	CP5	CP1
P7	0,87			
O1			0.95	
Oz				0,61
O2		0,71		

4.2.2 Neutral X Reappraise

A permutação entre as amostras das instruções *Neutral* e *Reappraise* na banda *Theta*, estão ilustradas na Figura 11, e demonstra que os eletrodos que são utilizados nas duas ações são os pares de eletrodos P3-F3, CP1-Pz, P4-F3 e O2-Oz, no qual O2-Oz apresentando o valor mais alto em relação aos demais. A Tabela 2 apresenta os valores do teste.

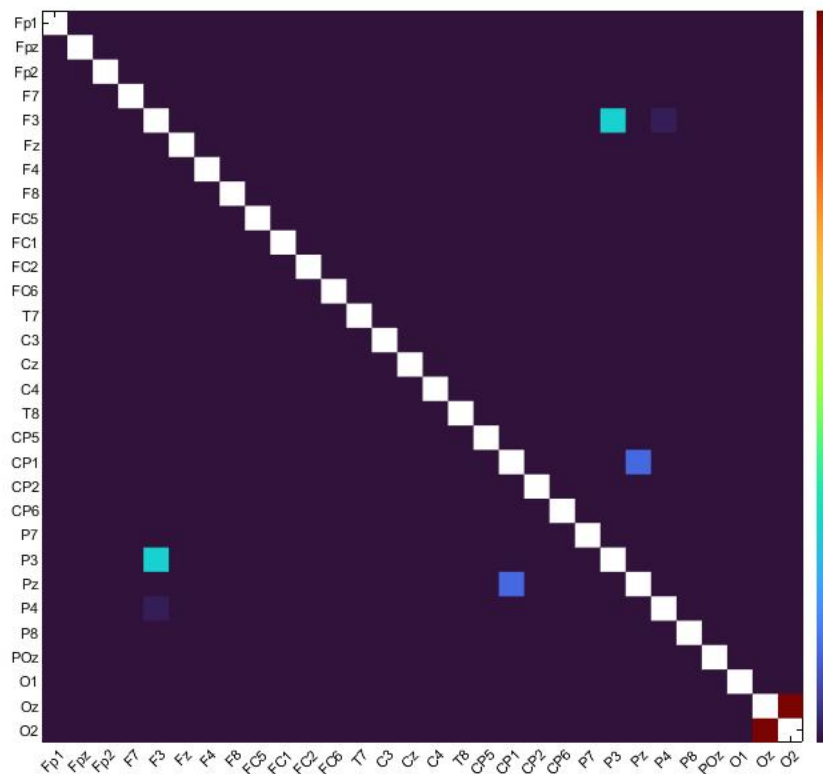


Figura 11 – Teste de Permutação Neutral X Reappraise
 Fonte: Próprio autor

Tabela 2 – *Permutation Test para as instruções Neutral X Reappraise*

Fonte: Próprio autor

	F3	CP1	Oz
P3	0,29		
Pz		0,12	
P4	0,01		
O2			1,00

4.2.3 Neutral X Suppress

As regiões centrais e frontais são mais ativas quando estão sendo realizadas as instruções *Neutral* e *Suppress*, nos quais os pares de eletrodos CP1-Fz apresentam correlações mais fortes de valor próximo a 1, e também temos correlações moderadas em CP5-FPz e CP1-FC1 de valores menores entre 0,3 e 0,5. As correlações mais fracas de valor abaixo de 0,3 na quais são mais aparentes nos pares de eletrodos P4-FC6, P3-CP2, T8-Fz e C3-F7. E os pares de eletros nas regiões occipitais(Oz-O1) e centrais(CP5-C3) apresentam correlações mais fracas. A Tabela 3 apresenta os valores do teste.

5 Conclusões

A realização análise de conectividade, no contexto de regulação emocional apresenta, quais as regiões corticais são ativas durante uma situação em que se tem estímulo emocional. Isso se faz importante para entender e padronizar o funcionamento do cérebro, principalmente para a realização de tratamentos psicológicos. Porém, os sinais biomédicos utilizados, o sinal EEG, precisam de tratamento com técnicas específicas para eliminar o ruído (interferência) e artefatos. Tendo os sinais tratado pode-se aplicar as técnica de análise de conectividade cortical como a *Weighted Phase lag Index* que apresenta quais relações se tem entre pares de eletrodos, e partindo disso consegue-se testar a permutação entre os pares de eletrodos em diferentes estratégias de regulação emocional.

A utilização dos artifícios de de conectividade demonstrou, como as estratégias de regulação agem em diferentes regiões do cérebro. Na banda de frequências θ as regiões frontais e centrais registraram maior interação. Na banda de frequências α , as regiões occipitais e frontais ficam mais excitadas e na banda de frequências β observou-se menos interações entre as regiões cerebrais.

O teste de permutação entre as matrizes de conectividade entre as diferentes estratégias de regulação, determinou quais as regiões do cérebro são ativas. Para cada par de instruções, temos as regiões em são ativas ao mesmo tempo e as regiões capturada pelos eletrodos em que temos correlações mais fortes.

Este trabalho é parte do projeto de psicologia desenvolvido na *Escuela de Psicología, Universidad Católica del Norte* sobre regulação emocional que busca entender fisiologicamente, como se dá a regulação emocional, visando desenvolver melhores tratamentos de condições psicológicas do ser humano impactados por emoções negativas.

A continuidade da investigação proposta neste trabalho envolve cruzar os resultados do EEG, por região cortical (conjuntos de eletrodos), de cada participante com suas respostas na escala Likert, tanto com métodos de análise no domínio do tempo quanto no domínio da frequência.

Referências

BERCHT, Magda. Em direção a agentes pedagógicos com dimensões afetivas. por, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1329>. Acesso em: 26 fev. 2024. Citado 1 vez na página 13.

BOWLBY, J. The influence of early environment in the development of neurosis and neurotic character. *The International Journal of Psychoanalysis*, Institute of Psycho-Analysis, United Kingdom, v. 21, p. 154–178, 1940. Citado 1 vez na página 13.

BRENNAN, K.A.; CLARK, C.L.; SHAVER, Phillip. Self-report measurement of adult attachment: An integrative overview. *Attachment Theory and Close Relationships*, p. 46–76, jan. 1998. Citado 1 vez na página 25.

CHAU, Wilkin et al. Improving permutation test power for group analysis of spatially filtered MEG data. *NeuroImage*, v. 23, n. 3, p. 983–996, 2004. ISSN 1053-8119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.07.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811904003726>. Citado 1 vez na página 21.

DOMIC-SIEDE, Marcos et al. Emotion regulation strategies and the two-dimensional model of adult attachment: a pilot study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, v. 17, 2023. ISSN 1662-5153. DOI: [10.3389/fnbeh.2023.1141607](https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1141607). Citado 2 vezes nas páginas 25, 27, 28.

DOMIC-SIEDE, Marcos et al. Emotion regulation strategies and the two-dimensional model of adult attachment: a pilot study. en. *Front. Behav. Neurosci.*, v. 17, p. 1141607, jul. 2023. Citado 1 vez na página 26.

ENGEL, Jerome; DA SILVA, Fernando Lopes. High-frequency oscillations – Where we are and where we need to go. *Progress in Neurobiology*, v. 98, n. 3, p. 316–318, 2012. High Frequency Oscillations in Cognition and Epilepsy. ISSN 0301-0082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2012.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301008212000135>. Citado 1 vez na página 22.

FREUD, S. *Inhibitions, Symptoms and Anxiety*. Norton, 1977. (Complete Psychological Works o). ISBN 9780393008746. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=Aeq5S_TZf1YC. Citado 1 vez na página 13.

FRIJDA, N.H. *The Emotions*. Cambridge University Press, 1986. (Studies in Emotion and Social Interaction). ISBN 9780521316002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=QkNuuVf-pBMC>. Citado 1 vez na página 11.

FRISTON, K.J.; HARRISON, L.; PENNY, W. Dynamic causal modelling. *NeuroImage*, v. 19, n. 4, p. 1273–1302, 2003. ISSN 1053-8119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00202-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00202-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811903002027>. Citado 1 vez na página 18.

GONÇALVES, Cezar Neubert; WAECHTER, Jorge Luiz. Epífitos vasculares sobre espécimes de *Ficus organensis* isoladas no norte da planície costeira do Rio Grande do Sul: padrões de abundância e distribuição. *Acta botânica brasílica*, SciELO Brasil, v. 16, p. 429–441, 2002. Citado 1 vez na página 22.

GROSS, James J. *Handbook of emotion regulation*. Guilford publications, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 13, 15.

GROSS, James J. The Emerging Field of Emotion Regulation: An Integrative Review. *Review of General Psychology*, v. 2, n. 3, p. 271–299, 1998. DOI: [10.1037/1089-2680.2.3.271](https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271). Disponível em: <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>. Citado 6 vezes nas páginas 11, 13, 14.

GROSS, JJ; THOMPSON, R. *Emotion regulation: Conceptual foundations. Handbook of Emotion Regulation. G.(Ed.). New York*. Guilford press, 2007. Citado 1 vez na página 11.

GUZMÁN-GONZÁLEZ, Monica et al. Propuesta de Valores de Referencia para el Cuestionario de Evaluación del Apego Adulto: Experiences in Close Relationships (ECR-12), en población adulta chilena Reference values for the Adult Attachment Assessment Questionnaire: Experiences in Close Relationships (ECR-12) in the Chilean Adult Population. v. 41, p. 39–62, mai. 2023. DOI: [10.4067/S0718-48082023000100039](https://doi.org/10.4067/S0718-48082023000100039). Citado 2 vezes na página 25.

HAJCAK, Greg et al. ERPs and the study of emotion. *The Oxford handbook of event-related potential components*, v. 441, p. 474, 2012. Citado 1 vez na página 23.

HERWIG, Uwe; SATRAPI, Peyman; SCHÖNFELDT-LECUONA, Carlos. Using the International 10-20 EEG System for Positioning of Transcranial Magnetic Stimulation. *Brain Topography*, v. 16, n. 2, p. 95–99, dez. 2003. ISSN 1573-6792. DOI: [10.1023/B:BRAT.0000006333.93597.9d](https://doi.org/10.1023/B:BRAT.0000006333.93597.9d). Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:BRAT.0000006333.93597.9d>. Citado 1 vez na página 16.

HOCKENBURY, Don H.; HOCKENBURY, Sandra E. *Discovering psychology*. 5th ed. New York: Worth Publishers, 2011. ISBN 9781429216500 9781429232029. Citado 1 vez na página 13.

IZARD, Carroll E. Forms and Functions of Emotions: Matters of Emotion? Cognition Interactions. *Emotion Review*, Sage Publications, v. 3, n. 4, p. 371–378, 2013. DOI: [10.1177/1754073911410737](https://doi.org/10.1177/1754073911410737). Citado 1 vez na página 13.

JIANG, Xiao; BIAN, Gui-Bin; TIAN, Zean. Removal of Artifacts from EEG Signals: A Review. *Sensors*, v. 19, n. 5, 2019. ISSN 1424-8220. DOI: [10.3390/s19050987](https://doi.org/10.3390/s19050987). Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/5/987>. Citado 1 vez na página 17.

- KLEMM, Matthias; HAUEISEN, Jens; IVANOVA, Galina. Independent component analysis: Comparison of algorithms for the investigation of surface electrical brain activity. *Medical biological engineering computing*, v. 47, p. 413–23, mar. 2009. DOI: [10.1007/s11517-009-0452-1](https://doi.org/10.1007/s11517-009-0452-1). Citado 1 vez na página 15.
- KOOLE, Sander L. The psychology of emotion regulation: An integrative review. *Cognition and emotion*, Psychology press, p. 138–177, 2010. Citado 1 vez na página 11.
- KOTHE, Christian Andreas; MAKEIG, Scott; ONTON, Julie Anne. Emotion Recognition from EEG during Self-Paced Emotional Imagery. In: 2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction. 2013. P. 855–858. DOI: [10.1109/ACII.2013.160](https://doi.org/10.1109/ACII.2013.160). Citado 1 vez na página 15.
- KOTTE, Shailaja; DABBAKUTI, J R K Kumar. Methods for removal of artifacts from EEG signal: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 1706, n. 1, p. 012093, dez. 2020. DOI: [10.1088/1742-6596/1706/1/012093](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1706/1/012093). Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1706/1/012093>. Citado 1 vez na página 17.
- KRAUS, Brian et al. The impact of culture on Emotion Suppression: Insights from an Electrophysiological Study of Emotion Regulation in Japan. *Biological Psychology*, p. 108767, 2024. ISSN 0301-0511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2024.108767>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301051124000267>. Citado 2 vezes na página 23.
- KRING, Ann M; SLOAN, Denise M. *Emotion regulation and psychopathology: A trans-diagnostic approach to etiology and treatment*. Guilford Press, 2009. Citado 1 vez na página 11.
- LAZARUS, R. S. *Psychological stress and the coping process*. New York, NY, US: McGraw-Hill, 1966. (Psychological stress and the coping process.). Citado 1 vez na página 13.
- LEHMANN, E.L. *Testing Statistical Hypotheses*. Wiley, 1959. (Probability and Statistics Series). ISBN 9780471524700. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=7WsGAQAAIAAJ>. Citado 1 vez na página 21.
- LI, Bohao; CHENG, Tianshuo; GUO, Zexuan. A review of EEG acquisition, processing and application. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 1907, n. 1, p. 012045, mai. 2021. DOI: [10.1088/1742-6596/1907/1/012045](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1907/1/012045). Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1907/1/012045>. Citado 1 vez na página 16.
- MELGES, Danilo Barbosa. *Processamento de Sinais Biomédicos*. Belo Horizonte, MG, 2013. Material de Disciplina, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Citado 0 vez na página 18.

- MISCHEL, Walter; CANTOR, Nancy; FELDMAN, Scott. Principles of self-regulation: The nature of willpower and self-control. In: New York, NY, US: The Guilford Press, 1996. P. 329–360. (Social psychology: Handbook of basic principles.). ISBN 1-57230-100-7 (Hardcover). Citado 1 vez na página 13.
- MURUGAPPAN, Prof; RAMACHANDRAN, Nagarajan; SAZALI, Yaacob. Classification of human emotion from EEG using discrete wavelet transform. *J. Biomedical Science and Engineering*, v. 334054, p. 390–396, jan. 2010. DOI: [10.4236/jbise.2010.34054](https://doi.org/10.4236/jbise.2010.34054). Citado 1 vez na página 15.
- OCHSNER, Kevin et al. For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *NeuroImage*, v. 23, p. 483–99, nov. 2004. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2004.06.030](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.06.030). Citado 1 vez na página 25.
- ROTHBART, Mary K.; ZIAIE, Hasan; O'BOYLE, Cherie G. Self-regulation and emotion in infancy. *New Directions for Child and Adolescent Development*, v. 1992, n. 55, p. 7–23, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1002/cd.23219925503>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/cd.23219925503>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cd.23219925503>. Citado 1 vez na página 14.
- SAMSON, Andrea; GROSS, James. Humor as emotion regulation: The differential consequences of negative versus positive humor. *Cognition and Emotion*, v. 26, p. 375–384, jan. 2012. DOI: [10.1080/02699931.2011.585069](https://doi.org/10.1080/02699931.2011.585069). Citado 1 vez na página 14.
- SANEI, Saeid; CHAMBERS, J.A. Fundamentals of EEG Signal Processing. In: EEG Signal Processing. John Wiley Sons, Ltd, 2007. cap. 2, p. 35–125. ISBN 9780470511923. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470511923.ch2>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470511923.ch2>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470511923.ch2>. Citado 7 vezes nas páginas 15–17.
- SANTANA, Adrielle De Carvalho. *Behavioral and Neurophysiological Representations of Speech Phonemic Units*. 2020. Tese (Doutorado) – Université Grenoble Alpes; Universidade federal de Minas Gerais. Citado 1 vez na página 18.
- SCHLUMPF, Yolanda R. et al. Functional reorganization of neural networks involved in emotion regulation following trauma therapy for complex trauma disorders. *NeuroImage: Clinical*, v. 23, p. 101807, 2019. ISSN 2213-1582. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101807>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213158219301573>. Citado 1 vez na página 25.
- SHAHABI, Hossein et al. *Gráfico e Matriz de Conectividade*. The Biomedical Imaging Group at University of Southern California, nov. 2023. Disponível em: <https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Tutorials/Connectivity>. Citado 0 vez na página 19.

- SILVA, Fernando Lopes da. EEG and MEG: Relevance to Neuroscience. *Neuron*, v. 80, n. 5, p. 1112–1128, 2013. ISSN 0896-6273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.10.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627313009203>. Citado 2 vezes na página 22.
- SILVA, Jaime R. International Affective Picture System (IAPS) in Chile: A crosscultural adaptation and validation study. *Terapia psicológica*, Sociedad Chilena de Psicología Clínica, v. 29, n. 2, p. 251–258, 2011. Citado 1 vez na página 25.
- TADEL, Francois et al. *Software*. Dez. 2022. Disponível em: https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Tutorials/Statistics#Parametric_Student.27s_t-test. Citado 1 vez nas páginas 21, 22.
- THATCHER, R W et al. Intelligence and eeg measures of information flow: efficiency and homeostatic neuroplasticity. en. *Sci. Rep.*, Springer Science e Business Media LLC, v. 6, n. 1, dez. 2016. Citado 1 vez na página 19.
- THIRUCHSELVAM, Ravi; HAJCAK, Greg; GROSS, James J. Looking Inward: Shifting Attention Within Working Memory Representations Alters Emotional Responses. *Psychological Science*, v. 23, n. 12, p. 1461–1466, 2012. PMID: 23137969. DOI: [10.1177/0956797612449838](https://doi.org/10.1177/0956797612449838). eprint: <https://doi.org/10.1177/0956797612449838>. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0956797612449838>. Citado 1 vez na página 14.
- VINCK, Martin et al. An improved index of phase-synchronization for electrophysiological data in the presence of volume-conduction, noise and sample-size bias. *NeuroImage*, v. 55, p. 1548–65, abr. 2011. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2011.01.055](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.055). Citado 1 vez na página 21.
- VRTIČKA, Pascal et al. The neural substrates of social emotion perception and regulation are modulated by adult attachment style. *Social neuroscience*, v. 7, p. 473–93, set. 2012. DOI: [10.1080/17470919.2011.647410](https://doi.org/10.1080/17470919.2011.647410). Citado 1 vez na página 25.
- WANG, Jing et al. EEG-based multivariate pattern analysis reveals the control mechanisms of emotion regulation through distancing. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, v. 24, n. 1, p. 100423, 2024. ISSN 1697-2600. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100423>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697260023000595>. Citado 2 vezes na página 23.
- WU, Xiaoling; SUN, Guodong. Music-induced emotions and musical regulation and emotion improvement based on EEG technology. *NeuroQuantology*, NeuroQuantology, v. 16, n. 6, 2018. Citado 2 vezes na página 23.