

Wendel dos Santos Nunes
Orientadora: Juliana Oliveira de Carvalho

**Análise de usabilidade e desempenho de tempo
para soluções em Eletroencefalograma usando
Transformada de Fourier**

Picos - PI
22 de janeiro de 2024

Wendel dos Santos Nunes
Orientadora: Juliana Oliveira de Carvalho

**Análise de usabilidade e desempenho de tempo para
soluções em Eletroencefalograma usando Transformada
de Fourier**

Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Sistemas de Informação na Universidade Federal do Piauí.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
22 de janeiro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

N972a Nunes, Wendel dos Santos.

Análise usabilidade e desempenho de tempo para soluções em eletroencefalograma usando Transformada de Fourier./ Wendel dos Santos Nunes. – 2024.

37 f.

1 Arquivo em PDF

Indexado no catálogo *online* da biblioteca José Albano de Macêdo-CSHNB

Aberto a pesquisadores, com restrições da Biblioteca

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Piauí, Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, Picos, 2024.

“Orientadora: Profa. Juliana Oliveira de Carvalho”

1. Eletroencefalograma-análise. 2. Exames médicos. 3. Sistemas de informação. Nunes, Wendel dos Santos. II. Carvalho, Juliana Oliveira de. III. Título.

CDD 638.8

Elaborado por Sérvulo Fernandes da Silva Neto CRB 15/603

ANÁLISE DE USABILIDADE E DESEMPENHO DE TEMPO PARA SOLUÇÕES EM
ELETROENCEFALOGRAMA USANDO TRANSFORMADA DE FOURIER

WENDEL DOS SANTOS NUNES

Monografia aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas
de Informação.

Data de Aprovação

Picos – PI, 02 de fevereiro de 2024

Profª. Juliana Oliveira de Carvalho

Prof. Glauber Dias Gonçalves

Profª. Patrícia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por conceder-me a força, sabedoria, paz, saúde e disposição para enfrentar qualquer adversidade ao longo dessa jornada de aprendizado.

Agradeço também aos meus pais, Francisco Jose Nunes e Edineta Borges dos Santos, que são a minha base e o espelho da minha vida. Eles me proporcionaram todo o apoio possível para que eu pudesse concluir o curso. Além disso, gostaria de agradecer à minha irmã, Williany dos Santos Nunes, que me apoiou durante o decorrer do curso, auxiliando, incentivando e aconselhando nas tomadas de decisões.

Meus agradecimentos também se estendem aos meus tios e primos, que me apoiaram em cada etapa da minha jornada acadêmica, tanto dentro quanto fora da faculdade.

Agradeço também à minha orientadora, Prof. Dra. Juliana Oliveira de Carvalho, pelos conselhos, orientações e paciência em me guiar durante os projeto de pesquisa e nesse trabalho de conclusão.

Não posso deixar de agradecer à minha segunda família, o Laboratório de Pesquisas Avançadas em Análise Dados (PAAD), que me proporcionou conhecer amigos/irmãos durante a jornada acadêmica. Em especial, agradeço a Eva, Emanuel, Vitor e Humberto, pois começamos essa jornada juntos.

Por fim, quero agradecer a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização desse trabalho de conclusão de curso, meu muito obrigado.

J.R.R. Tolkien

A jornada é tão importante quanto o destino.

Resumo

O Eletroencefalograma (EEG) é um exame essencial para médicos e pesquisadores da área, pois permite o registro de estímulos internos e externos do cérebro em tempo real. Assim, possibilita o diagnóstico e tratamento de distúrbios psiquiátricos e neurofisiológicos, como epilepsia e distúrbios do sono. O EEG pode utilizar diversos métodos matemáticos e computacionais para processar o registro e obter resultados mais precisos, como a Transformada de Fourier (TF). Os pesquisadores utilizam amplamente o TF por sua capacidade de eliminar ruído em sinais e fornecer uma nova perspectiva sobre o sinal, convertendo do domínio do tempo para o domínio da frequência. Neste trabalho, foi levantado o estado da arte de EEG e TF para identificar as soluções utilizadas para processamento de sinais de EEG, as variações existentes de TF e como elas são aplicadas. Uma avaliação de usabilidade e desempenho temporal foi realizada em ferramentas gratuitas que processam sinais de EEG. Os experimentos revelaram alguns problemas de acessibilidade e *layout*. Além disso, as avaliações temporais de desempenho apresentaram variações dependendo do tamanho do segmento analisado.

Palavras-chaves: EEG. TF. Tempo. Usabilidade.

Resumo

The Electroencephalogram (EEG) is an essential exam for doctors and researchers in the field, as it allows recording internal and external stimuli from the brain in real time. Thus, it enables the diagnosis and treatment of psychiatric and neurophysiological disorders, such as epilepsy and sleep disorders. EEG can use several mathematical and computational methods to process the record to obtain more accurate results, such as the Fourier Transform (TF). Researchers widely use TF to eliminate signal noise and provide a new perspective on the signal, converting from the time domain to the frequency domain. In this work, we surveyed the state of the art of EEG and TF to identify the solutions used for processing EEG signals, the existing variations of TF, and how they are applied. We evaluated free tools' usability and temporal performance that process EEG signals. The experiments revealed some accessibility and layout issues. Furthermore, temporal performance evaluations showed variations depending on the size of the analyzed segment.

Keywords: EEG. TF. Time. Usability..

Lista de ilustrações

Figura 1 – Metodologia para projeto.	12
Figura 2 – Eletroencefalograma	14
Figura 3 – Calculado o tempo gasto para realizar a TF	27
Figura 4 – Tempos de execução da TRF para segmentos de 50, 100, 200 e uma janela de 256	28
Figura 5 – Tempos de execução da TRF para segmentos do mesmo tamanho da janela	29
Figura 6 – Densidade Espectral de Potência com segmento 50, 100, 200 e janela de 50, 100, 200, 256	30
Figura 7 – Densidade Espectro de Potência com segmento 50, 100, 200 e janela de 256	31
Figura 8 – Espectro de Potência com os segmentos e janelas de 50, 100 e 200 . . .	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos relacionados.	22
Tabela 2 – Resultados referentes as questões sobre a compreensão do roteiro . . .	25
Tabela 3 – Resultados referente a experiência do Jupyter pelos participantes . . .	26

Lista de abreviaturas e siglas

AP	Aprendizagem Profunda
BCI	Interface Cérebro-computador
CNN	Rede Neural Convolucional
CSHNB	Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
DEP	Densidade Espectral de Potência
EEG	Eletroencefalograma
iEEG	Eletroencefalograma Intracraniano
PAAD	Pesquisas Avançadas em Análise Dados
SKY	Sudarshan Kriya Yoga
TCF	Transformada Contínua de Fourier
TDF	Transformada Discreta de Fourier
TF	Transformada de Fourier
TFCD	Transformada de Fourier de Curta Duração
TRF	Transformada Rápida de Fourier
UFPI	Universidade Federal do Piauí

Sumário

1	Introdução	10
1.1	Objetivos	11
1.2	Questões de Pesquisa	11
1.3	Metodologia do Trabalho	12
1.4	Organização do Trabalho	13
2	Referencial Teórico	14
2.1	Eletroencefalograma (EEG)	14
2.2	Transformada de Fourier (TF)	15
2.3	Usabilidade	16
2.4	Desempenho de tempo	17
3	Trabalhos Relacionados	18
3.1	Levantamento de uso de TF em EEG	18
3.2	Descrição dos trabalhos relacionados	18
4	Usabilidade e desempenho de tempo para análise de EEG usando TF	24
4.1	Teste de usabilidade	24
4.2	Teste de Desempenho de Tempo	27
5	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	33
5.1	Direções para Futuras Pesquisas	33
	Referências	34

1 Introdução

O eletroencefalograma (EEG) é uma técnica não invasiva, ou seja, não causa dor ou prejuízo durante a coleta dos dados cerebrais (PIRONDINI *et al.*, 2017). É amplamente empregado na análise dos sinais cerebrais, tanto os gerados por estímulos internos quanto externos (DAS *et al.*, 2023; GERAIS; ELÉTRICA, 2014). O conjunto de sinais capturados é referido como registro, sendo essa informação de relevância fundamental para o diagnóstico de distúrbios psiquiátricos e neurofisiológicos prevalentes em escala global. Entre esses distúrbios, merecem destaque a epilepsia, os distúrbios do sono e a depressão (GERAIS; ELÉTRICA, 2014).

Os sinais são comumente captados por meio de eletrodos dispostos no couro cabeludo, permitindo, desse modo, a obtenção dos sinais produzidos por impulsos elétricos. Devido à natureza não invasiva do método de captação, há uma suscetibilidade à interferência de ruídos ambientais, como movimentos musculares e fluxos de fluidos na região craniana, prejudicando, assim, a análise do registro (DAS *et al.*, 2023).

Esses ruídos podem ser eliminados por meio de diversas abordagens matemáticas, como a Transformada de Fourier (TF), Transformada de Wavelet e Transformada de Laplace. Nesta pesquisa, optou-se pela utilização da Transformada de Fourier, devido à sua capacidade de analisar e representar os sinais no domínio do tempo, transformando-os para o domínio da frequência. Essa transformação proporciona uma nova perspectiva para a visualização dos dados, viabilizando uma compreensão mais profunda das características subjacentes (NAJARIAN; SPLINTER, 2012). Adicionalmente, os progressos tecnológicos têm expandido as aplicações desse método em diversas áreas. Por exemplo, ele tem sido empregado na reconstrução bidimensional de imagens, no gerenciamento de resíduos químicos e no processamento de sinais de EEG (SMIDT; MEISSL, 2007; GRITSUTENKO; KOROVKIN, 2018; MACEDO¹ *et al.*, 2011).

Em 2021, foi realizada uma pesquisa bastante relevante sobre o ensino de EEG para residentes de neurologia no Brasil, uma vez que revelou a existência de grandes desafios a serem superados. Nesse estudo, foram analisadas mais de 102 respostas provenientes de 52 programas de residência em 14 estados brasileiros. Os resultados da pesquisa indicaram que 45 dos residentes não se sentem capazes de interpretar EEG sem supervisão e 70 dos participantes não se sentem confiantes em redigir relatórios sobre EEG (LOURENÇO *et al.*, 2022).

Os problemas decorrem da grande variedade de métodos matemáticos e sistemas em uso na análise. Um exemplo é a utilização da TF, que pode ser implementada por meio de diversas ferramentas e linguagens de programação, resultando em abordagens e desempenhos diversos. Além disso, cada sistema possui um contexto interno distinto, repleto de características e peculiaridades próprias, o que implica em uma alta curva de aprendizado

do ambiente operacional específico.

Diante do contexto descrito nesta seção, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da usabilidade e do desempenho de tempo das ferramentas utilizadas no processamento de sinais EEG que empregam o método matemático TF. Além disso, esta pesquisa visa também fazer um levantamento do estado da arte em relação à aplicação da TF no processamento de sinais EEG.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a usabilidade e o desempenho de tempo de ferramentas que analisam sinais EEG aplicando a Transformada de Fourier. Os objetivos específicos são:

1. Auxiliar pesquisadores com um levantamento sobre o estado da arte do uso da Transformada de Fourier em ferramentas para processamento de sinais de EEG;
2. Colaborar com pesquisadores com um levantamento de ferramentas utilizadas análise e processamento de sinais EEG usando TF;
3. Contribuir com o desenvolvimento de novas ferramentas para processamento de sinais EEG utilizando a TF;
4. Fornecer subsídios pesquisadores da área da saúde sobre quais soluções são mais adequadas de acordo com o cenário pretendido.

1.2 Questões de Pesquisa

Esta seção tem como objetivo descrever as questões de pesquisas afim de alcançar os objetivos deste trabalho descrito na Seção 1.1. Assim, a Questão de Pesquisa Principal(QPP) para este trabalho é:

QPP: Qual o grau de usabilidade e o desempenho de tempo de *softwares* para processamento de sinais de EEG usando TF?

Para responder a questão principal, foram elaboradas Questões de Pesquisa Secundárias (QPS) destinadas a extrair informações necessárias. Essas questões têm como fundamento aspectos como TF, EEG, Usabilidade e Soluções que podem contribuir para resolução da questão principal. As questões secundárias e suas justificativas, são apresentadas a seguir.

QPS1: Quais soluções estão sendo utilizadas para processamento de sinais EEG?

Essa pergunta visa descobrir quais soluções estão sendo empregada no processamento de sinais EEG utilizado a TF.

QPS2: Qual é o uso da TF para o processamento em geral de sinais EEG? Essa pergunta permite descobrir como a TF está sendo utilizado no processamento de sinais EEG.

QPS3: Qual é o desempenho de tempo para o processamento de sinais EEG? Esta pergunta tem como objetivo verificar quanto tempo é gasto durante o processamento de sinais EEG.

QPS4: Como é avaliada uma solução que utiliza a TF no processamento de EEG? Essa pergunta visa verificar se há uma forma de avaliar a usabilidade de soluções, seja em sistemas desktop ou aplicações web.

QPS5: A solução é código aberto? Essa pergunta permite identificar se a solução utilizada, seja em sistemas desktop ou aplicações web, é gratuita ou não.

1.3 Metodologia do Trabalho

Nesta seção é apresentada a metodologia para o planejamento da análise de desempenho e usabilidade para soluções da Transformada de Fourier em EEG. A metodologia usada nesse projeto para obtenção dos resultados consiste em: Fase I; Fase II; Fase III; Fase IV. A Figura 1 apresenta um fluxograma baseado em UML que representa a metodologia descrita.

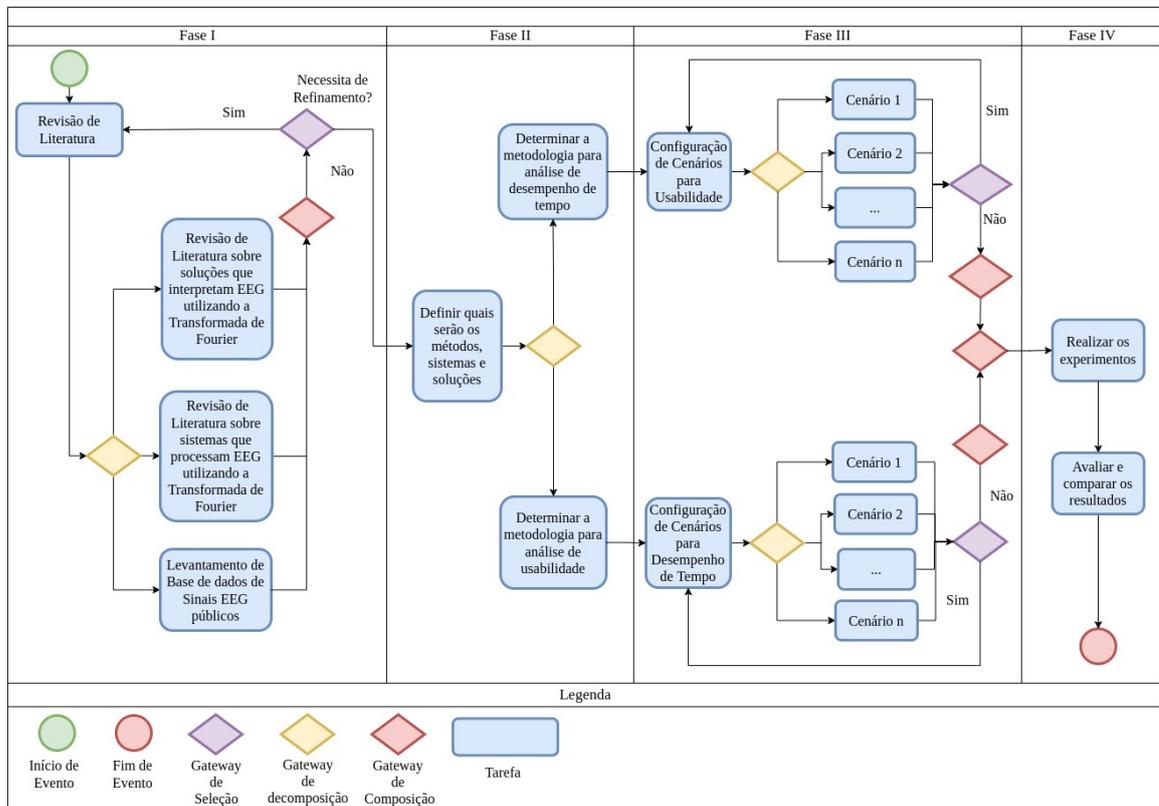


Figura 1 – Metodologia para projeto.

Fase I: Esta é a primeira fase deste projeto, na qual é realizado um levantamento de vários trabalhos para identificar soluções que utilizam a TF para interpretar sinais EEG e sistemas que processam sinais EEG utilizando TF. Além disso, nesta fase é feito um levantamento de base de dados de sinais EEG públicos para ser utilizado nas avaliações.

Fase II: Esta fase consiste em definir os sistemas e soluções que estão sendo utilizadas para fazer a análise de desempenho de tempo e usabilidade. Além disso, nesta fase está sendo determinando a metodologia utilizada na análise.

Fase III: Nesta fase, é estabelecido as configurações necessárias para a realização do teste de usabilidade e desempenho de tempo em vários cenários diferentes para cada sistema e/ou solução selecionada.

Fase IV: Esta é a última fase deste projeto, nela é realizado os experimentos necessários para avaliação. E por fim, estamos comparando os resultados obtidos e classificando para servir como base para pesquisadores com interesse nesse tipo de análise.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos que se apresentam da seguinte forma:

- O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico que aborda os conceitos fundamentais do uso da TF em EEG;
- O Capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados, destacando artigos com objetivos pouco ou muito semelhantes a este trabalho;
- O Capítulo 4 detalha a metodologia empregada durante o processo de desenvolvimento deste trabalho;
- O Capítulo 5 refere-se à análise dos resultados obtidos nos testes de usabilidade e desempenho de tempo;
- O Capítulo 6 contém a conclusão, destacando as contribuições desse trabalho e apresentado alguns sugestões para trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo descreve conceitos essenciais para a compressão do presente trabalho, que tem como proposta analisar a usabilidade e desempenho de tempo de ferramentas que processam sinais EEG e utilizam TF no processo. Nesse contexto, são abordado conceitos de EEG, TF, Usabilidade, Desempenho de Tempo, os quais são fundamentais para compreender a importância desse trabalho.

2.1 Eletroencefalograma (EEG)

O EEG é uma técnica que registra sinais elétricos na superfície do cérebro ou na parte externa da cabeça (HALL, 2021). Esses sinais são gerados a partir do sincronismo de células neuronais que geram potenciais elétricos durante atividades motoras, mentais e sensoriais do indivíduo (GERAIS; ELÉTRICA, 2014). O EEG é obtido através de um dispositivo, o eletroencefalógrafo (Figura 2), que captura atividades elétricas. O dispositivo é um amplificador que aumenta a amplitude do sinal elétrico em milhares de vezes, e as oscilações são vistas em formatos de ondas, que são utilizadas por pesquisadores e médicos em suas análises (SANTOS et al., 2007). A técnica de captura de conjuntos de sinais elétricos consiste em posicionar elétrons em regiões específicas no couro cabeludo, sendo uma técnica bastante utilizada, não invasiva e de baixo custo (MACEDO¹ et al., 2011).

Fonte: (Eletroencefalograma, 2018)



Figura 2 – Eletroencefalograma

2.2 Transformada de Fourier (TF)

No cotidiano, é comum encontrarmos a representação de um sinal no domínio do tempo. Contudo, para certas operações, especialmente na engenharia, trabalhar no domínio da frequência simplifica consideravelmente o processo. Esse domínio pode ser alcançado através das Transformada de Fourier (ESPINELLI; JR, 2011).

Introduzida por Jean-Baptiste Joseph Fourierem 1807, a TF tinha originalmente o objetivo de representar a distribuição de temperatura em termos de frequência. A TF se mostrou particularmente útil na análise de funções não periódicas, ou seja, funções que não possuem um período constante. Com o avanço das pesquisas, a aplicação da TF se expandiu para várias outras áreas. Por exemplo, ela tem sido utilizada para a reconstrução bidimensional de imagens, para o gerenciamento de resíduos químicos e para o processamento de sinais em EEG (SMIDT; MEISSL, 2007; MACEDO¹ et al., 2011; GRITSUTENKO; KOROVKIN, 2018).

A técnica em questão permite a análise de séries temporais, convertendo dados do domínio do tempo para o domínio da frequência. Isso possibilita a decomposição de um registro de EEG em vários ritmos, que são ilustrados no domínio da frequência. Aqui, $x(t)$ representa qualquer sinal no tempo, enquanto a função $X(f)$ é a Transformada de Fourier direta de $x(t)$, representando a amplitude de vários componentes de frequência que constituem o sinal. O uso do integral indica que todo o sinal no tempo está sendo considerado. Além disso, o termo exponencial complexo é usado para criar as sinusoides que compõem os sinais de frequência, conforme a Equação 2.1 (MACEDO¹ et al., 2011; WELCH, 1967; WEISSTEIN, 2004).

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.1)$$

O Espectro de Potência (EP) do EEG é gerado pelo quadrado da TF. A média da potência obtida no espectro permite estimar a contribuição de diferentes ritmos cerebrais, que são representados por suas respectivas frequências, no sinal EEG. Além disso, a partir do EP, pode-se obter a Densidade Espectral de Potência (DEP). A DEP é uma medida que informa como a energia de um sinal está distribuída ao longo do espectro de frequências. Em termos simples, ela fornece uma visão de quanta energia está presente em cada faixa de frequência do sinal.

Com passar do tempo, surgiram várias adaptações da TF para o processamento de sinais EEG. Entre elas estão a Transformada Contínua de Fourier (TCF), a Transformada Rápida de Fourier (TRF) e a Transformada de Fourier de Curta Duração (TFCD) (PUPIN; SILVA; CARBONE, 2011).

E entre essas adaptações, este projeto vai utilizar a TRF para o processamento do sinal EEG. A TRF é utilizada para converter um sinal em componentes individuais que se distinguem pelas suas frequências, fornecendo informações obtidas pelos sinais. A TRF pode

ser utilizada para a análise de falhas, para o controle de qualidade e para o monitoramento de condições de máquinas ou sistemas. Além disso, também pode ser utilizada para a otimização da implementação da Transformada Discreta de Fourier (TDF), reduzindo os custos computacionais durante o processamento do sinal. E, a TF pode ser aplicada em diversas áreas relacionadas ao EEG, tais como:

- O trabalho de [Dkhill, Wali e Alimi \(2015\)](#) desenvolve um algoritmo para avaliar o estágio de sonolência por meio de uma análise de sinais de EEG utilizando a TF.
- A pesquisa de [Samiee, Kovacs e Gabbouj \(2014\)](#) apresenta um novo método de aplicação da TF em sinais EGG para a detecção de crises epilépticas, com precisão de 98.1%.
- O estudo de [Mandhouj, Cherni e Sayadi \(2021\)](#) propõe uma nova abordagem para a classificação de crises de epilepsia a partir da análise de sinais EEG utilizando a TF, com precisão de 98.22%.

2.3 Usabilidade

A usabilidade está relacionada a facilidade de aprendizado e uso da interface, bem como a satisfação do usuário no decorrer da utilização do *software* ([BARBOSA; SILVA, 2010](#)). Nesse contexto, são definidos os critérios de usabilidade como fatores que mostram quão bem uma pessoa pode interagir com o ambiente. E ainda segundo ([BARBOSA; SILVA, 2010](#)), podemos considerar os seguintes fatores:

- Facilidade de aprendizado - refere-se ao tempo e esforço gastos para que um usuário aprenda a utilizar um sistema/solução com determinado nível de satisfação;
- Facilidade de recordação - é a facilidade de lembrar os processos de um sistema depois de um período sem ser utilizado.
- Eficiência - a quantidade de recursos necessários para que os usuários conseguissem alcançar seus objetivos.
- Segurança no uso - é o grau de proteção que o sistema tem para evitar condições desfavoráveis ou perigosas para os usuários;
- Satisfação do usuário - refere-se a avaliação que os usuários expressam ao utilizar um sistema.

Cada *software* possui um ambiente interno diferente do outro, com suas próprias características e peculiaridades. Assim, a interação no ambiente é um processo que exige

muito do usuário. Nesse contexto, o usuário precisa apresentar disposição e tempo para aprender a usar uma solução.

Atualmente, existem diversas abordagens para analisar a satisfação de um usuário em relação a uma determinada solução, tais como, Escala de Likert e Escala Phrase Completion. Este trabalho adotou a utilização do modelo Likert para avaliação, pois segundo [Júnior e Costa \(2014\)](#) é o modelo mais adotado e discutido entre os pesquisadores para avaliar a satisfação do usuário.

Segundo [Aguilar, Correia e Campos \(2011\)](#), esse modelo utiliza uma série de perguntas formuladas para uma determinada pesquisa científica, onde os usuários selecionam uma das respostas possíveis, sendo normalmente utilizadas cinco opções de respostas. Essas perguntas devem ter um nível de graduação em uma ordem decrescente, por exemplo, Concordo muito, Concordo, Neutro/Indiferente, Discordo e Discordo muito.

2.4 Desempenho de tempo

O desempenho de tempo, que é um aspecto importante em várias áreas de pesquisa, pode ser usado para avaliar a eficiência do processamento. A avaliação do desempenho de tempo, em termos de cálculos, pode ser realizada através de várias métricas, como o tempo médio de execução por tarefa, o tempo total de execução e o tempo máximo de execução. Essas métricas são essenciais para identificar os gargalos de desempenho e auxiliar nas tomadas de decisões sobre como melhorar o processamento.

Neste projeto, o desempenho de tempo é calculado pela métrica do tempo total de execução do processamento. Adicionalmente, também é considerado na análise a mudança de cenário, o número de requisições simultâneas, a capacidade da máquina e a ferramenta utilizada.

Dizer se o desempenho de tempo é bom depende em grande parte da satisfação do usuário. No entanto, é possível comparar o desempenho de soluções distintas em um mesmo contexto e assim demonstrar os melhores desempenhos a partir da comparação.

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo tem como objetivo principal descrever todo o levantamento e estudo realizado sobre o uso da Transformada de Fourier para análise de sinais de EEG. Para isto a Seção 3.1 mostra como e onde foi realizados o levantamento. Por fim, a Seção 3.2 detalha os trabalhos relacionados e faz uma análise dos mesmos.

3.1 Levantamento de uso de TF em EEG

Essa etapa trata do levantamento na literatura para este projeto, que utilizou-se o Portal de Periódicos da Capes por meio do acesso via Café - Comunidade Acadêmica Federada. Este portal proporciona acesso a diversas bases de pesquisa. Para a presente pesquisa, optou-se pela utilização das bases *ScienceDirect*¹, *IEEE Xplore*², *Web of Science*³, *Scopus*⁴, *PubMed*⁵ e *Google Academic*⁶. A *string* de busca utilizada durante o desenvolvimento desse trabalho é apresentada a seguir.

**“EEG” AND “Fourier” AND “Transform” AND (“Application” OR
“Software” OR “Toolbox” OR “Usability”)**

3.2 Descrição dos trabalhos relacionados

Nesta seção são detalhados todos os trabalhos obtidos através da pesquisa descrita na subseção anterior.

- O trabalho de [Al-Salman et al. \(2022\)](#) tem como objetivo a utilização da TF para a detecção e predições de convulsões em sinais de EEG. Segundo os autores, a detecção obteve uma taxa de precisão média entre 97,7% e 96,8% para a base de dados de Bonn e Bern.
- O estudo de [AlShorman et al. \(2022\)](#) tem como o objetivo de identificar, a partir de sinais EEG, o estresse mental na jornada de formação dos alunos. E, apresentaram uma taxa de precisão de 98,21%.
- O trabalho conduzido por [Bhaskar et al. \(2020\)](#) examina as oscilações neuronais em bandas de multifrequência e sincronização inter-hemisférica após a utilização do

¹ <https://www.sciencedirect.com/>

² <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

³ <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

⁴ <https://www.scopus.com/>

⁵ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

⁶ <https://scholar.google.com.br/?hl=pt>

Sudarshan Kriya Yoga (SKY), uma técnica de respiração rítmica. Para esta pesquisa, foram gravados e analisados registros EEG de dezenove canais por um período de 5 minutos, antes e após a prática do SKY. Além disso, foi utilizada a caixa de ferramentas Chronux para calcular a potência espectral em diferentes bandas de frequência de sinal, tais como delta, teta, alfa, beta e gama. Os resultados desta pesquisa indicam que a prática do SKY leva a melhor atenção, memória, controle emocional e funções cognitivas.

- No estudo realizado por [Jusas e Samuvel \(2019\)](#), eles sugerem que a extração de informação de imagem motoras podem ter um melhor desempenho através da combinação de vários métodos de processamento. Os métodos combinados foram a Análise de Componentes, Filtros Baseados em Correlação Rápida, Transformada Rápida de Fourier, R2, Decomposição de Modo Empírico e Decomposição em Escala de Tempo Intrínseca. Para realizar o estudo, eles utilizaram o conjunto de dados do BCI Competition IV, que contém 22 sinais EEG registrados de maneira monopolar para realizar o teste. Os testes resultaram uma precisão de 0,64, valor significativamente maior do que o resultado padrão, geralmente situado entre 0,50 e 0,60.
- O estudo de [Kurnianadi e Setiawan \(2019\)](#), promove uma discussão sobre a construção básica do EEG com foco na construção de dispositivos, simulação e resultados de dispositivos. O estudo analisa a gravação de sinais usando o Arduino Mega 2560, diagramas de circuitos e os resultados obtidos através do aplicativo SCILAB.
- A pesquisa de [Magnotti, Wang e Beauchamp \(2020\)](#) tem como objetivo criar uma plataforma WEB para análise de sinais de eletroencefalografia intracraniana (iEEG). Essa plataforma facilita o uso do usuário por não são exigir a escrita de código no computador.
- A pesquisa de [Mehla, Singhal e Singh \(2020\)](#) sugere uma nova abordagem para a detecção automatizada de alcoolismo utilizando TF em sinais EEG. E, obteve uma precisão de 99,98%, sensibilidade de 99,99% e especificidade de 99,97%.
- O estudo executado por [Morales e Bowers \(2022\)](#) realizou uma análise dos métodos de análise tempo de frequência. A pesquisa enfatiza a importância de utilizar a análise de tempo de frequência, pois a Transformada de Fourier e Potenciais Relacionados a Eventos (ERP) não consegue aproveitar totalmente todas as informações dos sinais. Para exemplificar essa situação, o estudo empregou textitsoftware Matlab para demonstrações práticas.
- O trabalho realizado por [Özbek, Fide e Yener \(2021\)](#) apresenta uma comparação entre os pacientes com doenças de Alzheimer de início precoce (EOAD), controles saudáveis e pacientes com início tardio (LOAD), utilizando oscilações delta, teta,

alfa e beta em estado de repouso do EEG. O EEG foi registrado a partir de 30 eletrodos colocados em uma capa elástica de acordo com sistema internacional 10-20 e eletrodos de orelha interligados em quarenta e sete indivíduos EOAD e 51 indivíduos (LOAD). A análise estatística das comparações foi conduzida através do textitsoftware IBM SPSS textitStatistics 24.0. Como resultado, descobriu-se que o EEG tem a capacidade de alterar o estado de repouso de indivíduos com EOAD em comparação com controles de jovens saudáveis.

- O estudo realizado por [Pei et al. \(2021\)](#) propõe um novo método que combina características dos métodos de projeção tensor-vetor, transformada rápida de Fourier (FFT), padrão espacial comum (CSP) e fusão de recursos de última geração para ser utilizado na interface cérebro-computador (BCI). O teste realizado em três bases diferentes mostrou que o método proposto poderia melhorar a precisão de classificação em 5%. Todos os testes foram conduzidos no software Matlab 2020a.
- O trabalho de [Rizal, Priharti e Hadiyoso \(2021\)](#) sugere um novo método para detecção e predição de convulsões em sinais de EEG utilizando a TF. Esse método utiliza a análise da distribuição do espectro do sinal no intervalo do tempo e apresentam a precisão de 92.3%.
- O estudo de [Sawa, Yamada e Obata \(2021\)](#) revisa as técnicas de programação para análise do espectro e do espectrograma derivados de um sinal de EEG. Essas técnicas são utilizadas para analisar a relação entre o aprofundamento anestésico e a frequência de EEG durante anestésias. Sua implementação é realizada em python e o ambiente de desenvolvimento do Jupyter Notebook.
- O estudo de [Simfukwe et al. \(2023\)](#) propõe uma nova metodologia de aprendizado de máquina para detectar transtorno cognitivo leve e doença de alzheimer a partir de imagens qEEG de tempo frequência de um estado de repouso.
- A pesquisa conduzida por [Tabassum e Tabassum \(2021\)](#) propõe uma estratégia baseada em *field-programmable gate array* para identificar sinais de sonolência em EEG, oferecendo um sistema de alerta ao usuário em questão de nanossegundos. Os pesquisadores utilizaram a magnitude de frequência de 128-FFT para projetar o sistema proposto. Em seguida, os dados foram analisados amostra por amostra através do diagrama de tempo, a fim de comparar a duração ou distância para detectar a presença da região teta acima do limite estabelecido. Uma vez detectada a sonolência, o sistema dispara um alarme para alertar o usuário. Os resultados destacam que o sistema desenvolvido pelos pesquisadores é apto para detecção em tempo real, além de demonstrar sua capacidade de contribuir para a prevenção de acidentes rodoviários

- A pesquisa de [Tepe e Savařtaer \(2022\)](#) sugere uma nova caixa de ferramentas para processamento de sinais eletroencefalograma, eletrocardiograma e eletromiografia. Nesse estudo, foi utilizada a linguagem Python para a captura do sinal, filtragem, processamento e a aplicação da transformada de Fourier.
- O estudo conduzido por [Zaid, Sah e Direkoglu \(2023\)](#) propõe sinais EEG modificados, pré-processados e combinados como entradas para diferentes modelos de aprendizagem profunda (AP), a fim de realizar a classificação de crises de epilepsia, em vez de sinais brutos. Neste estudo foram avaliadas três arquiteturas de DL diferentes: Rede Neural Profunda, Rede Neural Convolucional (CNN) 1D moderadamente complexo e modelo 1D-CNN complexo. Para isso, foi utilizado um conjunto de dados da UCI-Bonn para classificação das crises de duas a três classes. Ao final dos testes realizados, o artigo apresenta evidências que mostram que a combinação pode obter resultados competitivos com menos recursos computacionais através de tabelas de comparação.
- A pesquisa de [Zhang et al. \(2021\)](#), apresenta uma nova proposta de uma rede dinâmica multiescala para aprimorar a capacidade de classificação de sinais EEG de imagens motoras. Essa abordagem pode beneficiar pacientes em processo de autocuidado e terapia de reabilitação. Para a realização dos testes, utilizou-se o conjunto de dados público III da competição BCI II. Os resultados dos testes experimentais indicam que o método proposto obteve resultados positivos.

A Tabela 2 fornece um comparativo dos trabalhos relacionados considerando alguns critérios. A primeira coluna contém a referência do trabalho. A segunda coluna, chamada de Tipo de Sinal, identifica se o trabalho trata de sinal de EEG. A terceira coluna, chamada de Solução, tem como objetivo verificar se o trabalho utiliza alguma solução. A quarta coluna, chamada de Avaliação de Solução, verifica se os trabalhos fazem algum tipo de avaliação de solução. Por fim, a quinta, chamada de Método, identifica qual método é utilizado.

O primeiro critério, tipo de sinal, visa identificar se os trabalhos selecionados analisam algum tipo de sinal. Entre os artigos selecionados, somente a pesquisa realizada por [Magnotti, Wang e Beauchamp \(2020\)](#) analisa o iEEG. Os demais trabalhos concentram-se na análise do EEG.

O segundo e o terceiro critério, utilizam e avaliam uma solução, tem como propósito examinar se os trabalhos selecionados empregam alguma solução e/ou avaliam a solução. A maioria dos trabalhos utiliza uma solução, tais como: EEG Lab, Matlab, Google Colab, BM SPSS Statistics e Jupyter Notebook. Porém, só o trabalho conduzido por [Rizal, Priharti e Hadiyoso \(2021\)](#) avalia a usabilidade, as funcionalidades e as características da solução.

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos relacionados.

Trabalhos	I	II	III	IV
<i>Al-Salman et al. (2022)</i>	EEG	Matlab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>AlShorman et al. (2022)</i>	EGG	EEGLab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Bhaskar et al. (2020)</i>	EEG	Matlab 2016b	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Jusas e Samuvel (2019)</i>	EEG	Não é especificado	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Kurnianadi e Setiawan (2019)</i>	EEG	Scilab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Magnotti, Wang e Beauchamp (2020)</i>	iEEG	Rave	Reprodução e Visualização dos dados	Não é especificado
<i>Mehla, Singhal e Singh (2020)</i>	EGG	Matlab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Morales e Bowers (2022)</i>	EEG	Matlab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Özbek, Fide e Yener (2021)</i>	EEG	IBM SPSS Statistics 24.0	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Pei et al. (2021)</i>	EEG	Matlab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Rizal, Priharti e Hadiyoso (2021)</i>	EEG	Não é especificado	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Sawa, Yamada e Obata (2021)</i>	EEG	Jupyter Notebook	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Simfukwe et al. (2023)</i>	EEG	Matlab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Tabassum e Tabassum (2021)</i>	EEG	Jupyter Notebook	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Tepe e Savaştaer (2022)</i>	EEG	Não é especificado	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Zaid, Sah e Direkoglu (2023)</i>	EEG	Google Colab	Não é especificado	Transformada de Fourier
<i>Zhang et al. (2021)</i>	EEG	Não é especificado	Não é especificado	Transformada de Fourier
Este projeto	EEG	Jupyter Notebook	Usabilidade e Desempenho de tempo	Transformada de Fourier

I - Tipo de sinal; II - Utilizar uma solução existente; III - Avalia solução; IV - Métodos

O quinto critério, métodos, tem como objetivo verificar quais trabalhos utilizam a TF. Dentro desses trabalhos selecionados, apenas no caso do estudo conduzido por [Magnotti, Wang e Beauchamp \(2020\)](#), não é possível afirmar que utiliza TF, uma vez que o método não é especificado.

Por fim, pode-se destacar como uma das principais dificuldades na construção desse tópico, a falta de trabalhos relacionados à usabilidade de soluções e análise de desempenho de tempo. Portanto, se torna evidente a importância da pesquisa proposta nesse projeto.

4 Usabilidade e desempenho de tempo para análise de EEG usando TF

Neste capítulo são apresentados os resultados detalhados dos testes de usabilidade e desempenho de tempo em relação as ferramentas para o processamento de registro de EEG. Inicialmente, foram realizadas pesquisas em trabalhos acadêmicos e selecionadas três ferramentas, o EEGLAB, Octave e Jupyter Notebook, por serem gratuitas. No entanto, não foi possível instalar adequadamente os pacotes do Octave para o processamento de sinal EEG e o EEGLAB na versão gratuita não possui todas as funcionalidades necessárias para a realização do projeto. Dessa forma, foi utilizado somente o Jupyter Notebook nos experimentos.

Os experimentos foram conduzidos em um notebook Acer Nitro AN515-54. O dispositivo possui um processador Intel® Core™ i5-9300H CPU @ 2.40GHz × 8, uma placa de vídeo GeForce GTX 1650 Mobile/Max-Q, um SSD de 194.24 gigabyte da A-Data, um HD de um terabyte da Western Digital, oito gigabyte de memória e opera com o sistema Ubuntu 22.04.3 LTS (Jammy Jellyfish).

4.1 Teste de usabilidade

Os experimentos de usabilidade foram realizados com um grupo de 10 alunos escolhidos através de uma amostragem estratificada uniforme. Esta técnica de amostragem foi empregada para garantir que se tivesse a mesma quantidade de alunos dos cursos de Biologia e Sistema de Informação. Assim, selecionaram-se 5 alunos do curso de Biologia e 5 do curso de Sistema de Informação da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Senador Helvídio Nunes de Barros (CSHNB), localizado em Picos-PI (BOLFARINE; BUSSAB, 2005). Neste projeto, utilizou-se a técnica da Escala Likert¹ para avaliar a usabilidade da ferramenta pelos usuários. Os estudantes foram convidados a realizar testes no Laboratório de Pesquisas Avançadas em Análises de Dados (PAAD), localizado dentro CSHNB da UFPI. Receberam um roteiro com instruções para utilizar a ferramenta no processamento de um registro EEG, também foi utilizada a base gratuita BCI versão IV², que é usada em competições neurocientíficas.

O questionário foi fundamentado na Escala Likert. Foram coletados dados sobre a percepção dos estudantes, eficácia na execução e a clareza das respostas da ferramenta. A principal meta desse questionário é identificar o nível de satisfação do usuário com a ferramenta. Para tal, foi disponibilizado um formulário de avaliação no Google Forms,

¹ <https://mindminers.com/blog/entenda-o-que-e-escala-likert/>

² <https://www.bbc.de/competition/iv/>

contendo dez perguntas. Cinco perguntas foram relacionadas a execução de cada passo do roteiro e as outras cinco focaram na interface, resposta do sistema, feedback e acessibilidade. Os itens a seguir apresentam as cinco primeiras questões:

- Questão 1: Em relação à primeira etapa, como você descreve a experiência de adicionar pacotes para o uso de funções prontas?
- Questão 2: Pensando na segunda etapa, como você avalia a tarefa de carregar a base de dados para análise?
- Questão 3: No contexto da terceira etapa, quão desafiador é visualizar informações da base de dados?
- Questão 4: Com relação à quarta etapa, como você classifica a tarefa de visualizar dados de EEG da base de dados?
- Questão 5: Em termos da quinta etapa, qual é o nível de dificuldade ao calcular o espectro de potência e mostra o gráfico?

Essas cinco questões estão sendo utilizadas para analisar como os usuários avaliam cada etapa do roteiro, que é realizado desde a adição dos pacotes iniciais até a utilização da TF em um registro de EEG. A Tabela 2 apresenta os resultados, sendo a primeira coluna a identificação da questão e as demais o grau de compreensão do roteiro.

Tabela 2 – Resultados referentes as questões sobre a compreensão do roteiro

Questão	Muito Fácil	Fácil	Indiferente	Difícil	Muito Difícil
Questão 1	60%	30%	10%	0%	0%
Questão 2	30%	60%	0%	10%	0%
Questão 3	30%	40%	20%	10%	0%
Questão 4	20%	30%	40%	10%	0%
Questão 5	20%	10%	10%	60%	0%

A Tabela 2 permite concluir que as três primeiras questões do roteiro do questionário foram bem avaliadas, com apenas 10% dos participantes considerando a execução difícil. Na quarta questão, destacou-se que 40% dos participantes não consideraram a execução nem difícil nem fácil. No entanto, na quinta questão, a utilização da TF mostrou-se um desafio significativo para os estudantes, com mais de 60% deles considerando a execução difícil.

Essa dificuldade pode ser atribuída às diversas formas de implementar um código na área da programação. Isso se torna um grande desafio até para indivíduos que tem conhecimento em realizar tarefas mais complexas e importantes na programação. Como resultado, podem surgir diversos erros na lógica, códigos com desempenho insatisfatório e resultados incorretos. A seguir, são apresentados as últimas cinco perguntas do questionário.

- Questão 6: Qual é a sua impressão inicial ao abrir o *software*?
- Questão 7: Como você classificaria o desempenho do software em termos de resposta e velocidade?
- Questão 8: Como você avalia o *feedback* fornecido pelo sistema sobre suas ações?
- Questão 9: Como você avalia o *design* e o layout da interface do *software*?
- Questão 10: Em termos de acessibilidade, como você classificaria o *software*?

Essas últimas perguntas refere-se a satisfação do usuário com a ferramenta Jupyter Notebook. Dessa forma, pode-se observar a opinião dos participantes sobre desempenho de tempo, *design*, *feedback* fornecido e acessibilidade da ferramenta. A Tabela 3 apresenta os resultados das 5 últimas questões, sendo a primeira coluna a identificação da questão e as demais grau de satisfação com a ferramenta Jupyter.

Tabela 3 – Resultados referente a experiência do Jupyter pelos participantes

Questão	Excelente	Bom	Aceitável	Ruim	Muito Ruim
Questão 6	60%	30%	10%	0%	0%
Questão 7	30%	60%	0%	10%	0%
Questão 8	30%	40%	20%	10%	0%
Questão 9	20%	30%	40%	10%	0%
Questão 10	20%	10%	10%	60%	0%

Os resultados das últimas questões mostram aspectos positivos e negativos sobre a usabilidade do Jupyter Notebook, conforme apresentado na Tabela 3. A sexta questão indica que a impressão inicial da ferramenta teve um nível de satisfação de 60%, considerando a classificação “Excelente”, e 40%, considerando a classificação "Bom". Portanto, essas métricas mostram que a ferramenta causou uma boa impressão inicial nos estudantes.

A sétima questão aborda a resposta da ferramenta aos comandos e a velocidade para executar o processamento do que é solicitado pelo roteiro. A Tabela 3, demonstra que os estudantes expressaram uma satisfação de 60%, considerando a classificação "Bom", 30%, com a classificação "Excelente", e 10%, com a classificação "Ruim". Com base nesses resultados, é possível inferir que a maioria dos alunos gostaram da resposta e velocidade da ferramenta.

A oitava questão refere-se ao *feedback* fornecido quando ocorre algum problema na execução do código ou na ferramenta. A partir da Tabela 3, pode-se perceber que os estudantes apreciaram o *feedback* fornecido, pois o resultado de satisfação foi de 40%, considerando a classificação "Bom", 30%, com a classificação "Excelente", 20%, com a classificação "Aceitável", e 10%, consideraram "ruim".

A nona questão visa coletar dados sobre a opinião dos estudante acerca do *layout* da ferramenta. Conforme a Tabela 3, observa-se que os estudantes não classificaram o *layout* totalmente positivo e nem negativo, pois teve um nível de satisfação de 40%, com a classificação "Aceitável", 30%, com a classificação "Bom", 20%, com a classificação "Excelente" e 10% com a classificação "Ruim". Isso indica que existem lacunas no *layout* da ferramenta.

A decima questão tem como objetivo verificar a acessibilidade do sistema para pessoas com deficiência. E de acordo com a Tabela 3, percebe-se que a ferramenta não possui boa acessibilidade, pois o nível de satisfação é de 60%, com a classificação "Ruim" da ferramenta. Além disso, 10% dos estudantes classificaram como "Aceitável", 20% como "Bom", e 20% como "Excelente". Isso sugere que há espaço para melhorias na acessibilidade.

Os resultados obtidos nesse experimento destacam tanto os aspectos positivos quanto os negativos da ferramenta Jupyter Notebook. Entre os pontos positivos, destacam-se a velocidade e *feedback* da ferramenta, que receberam avaliação altamente positiva pelos participantes. No entanto, o *design* da ferramenta e a acessibilidade receberam avaliação que merece atenção, pois são aspectos fundamentais para utilização da ferramenta. Por fim, é importante enfatizar que a realização deste teste só foi possível graças ao roteiro detalhado fornecido para os participantes. Sem este roteiro, os participantes teriam enfrentado dificuldades para resolver as questões propostas.

4.2 Teste de Desempenho de Tempo

Os experimentos de desempenho de tempo de execução foram realizados utilizando o módulo 'time' do Python, como é exibido na Figure 3. Este módulo oferece várias funções relacionadas ao tempo, como 'time', que retorna o tempo atual em segundos, 'sleep', que suspende a execução de um thread por um tempo especificado, e 'perf_counter', que retorna o valor (em frações de segundo) de um contador de desempenho.

```
import time

execution_times = []
data = raw.get_data()

for i in range(30):
    start_time = time.perf_counter()

    psd, freqs = psd_array_welch(data, sfreq=raw.info['sfreq'], fmin=0, fmax=250, n_per_seg=100, n_fft=256)

    end_time = time.perf_counter()

    execution_time = end_time - start_time
    execution_times.append(execution_time)
```

Figura 3 – Calculado o tempo gasto para realizar a TF

No decorrer destes experimentos, a função 'perf_counter' foi empregada no início e no término da função que realiza a TRF. Nessas instâncias, os valores iniciais e finais da transformação do sinal foram atribuídos a duas variáveis específicas 'start_time' e

‘end_time’. Finalmente, a subtração entre essas variáveis resultou no tempo total para a conclusão da transformação. Este valor foi então adicionado a um *array* que armazena todos os tempos registrados durante o experimento.

Os experimentos foram conduzidos de formas distintas. A função ‘psd_array_welch’, ilustrada na Figura 3, utilizou dois parâmetros cruciais: ‘n_per_seg’ e ‘n_fft’. O parâmetro ‘n_per_seg’ definiu o tamanho de cada segmento, que é uma porção do sinal de entrada. Em outras palavras, o sinal de entrada foi dividido em várias partes menores, ou segmentos, cada uma com tamanho definido por ‘n_per_seg’. Por outro lado, o parâmetro ‘n_fft’, referido como ‘janela’ nos gráficos, é o comprimento da TRF usado para calcular a Densidade Espectral de Potência (DEP). Se o ‘n_fft’ for maior que o ‘n_per_seg’, o segmento é preenchido com zeros até atingir o comprimento ‘n_fft’. Esse processo é conhecido como zero-padding e pode ajudar a melhorar a resolução da frequência.

Cada experimento foi realizado 30 vezes para com objetivo de alcançar a distribuição normal, conforme o (HOGENDIJK; WHITESIDE, 2011). Os experimentos abordaram segmentos e janelas de 50, 100, 200 e 256. Além disso, os dados da base gratuita BCI versão IV foram utilizados nesses experimentos. A seguir, na Figura 4 são apresentados os experimentos que envolvem segmentos de 50, 100, 200 e uma janela de 256.

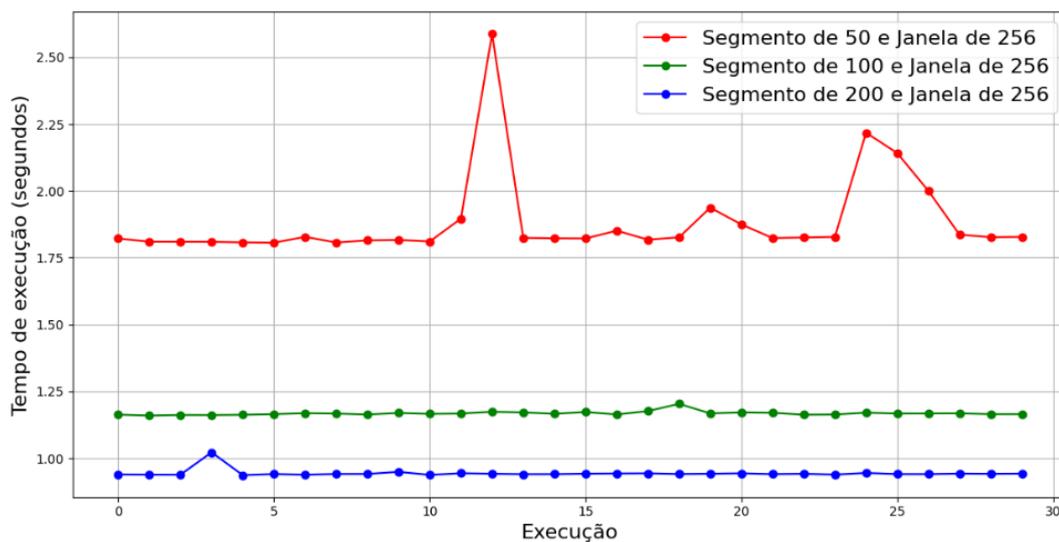


Figura 4 – Tempos de execução da TRF para segmentos de 50, 100, 200 e uma janela de 256

Na Figura 4, as linhas vermelha, azul e verde representam os tamanhos de cada segmento em uma janela de 256. É perceptível a diferença entre os tempos de execução. Portanto, quanto menor o tamanho do segmento em relação ao tamanho da janela, maior será o tempo de execução da TRF. Na Figura 5 são apresentados os experimentos que envolvem segmentos e janelas do mesmo tamanho, sendo 50, 100, 200.

Observa-se na Figura 5, que o tamanho do segmento não exerce uma influência significativa no tempo de execução da TRF, isso pode ser percebido pelas variações do tempo de execução, que se situam aproximadamente entre 0,84 a 0,98 segundos. Portanto, conclui-se que, nos casos que o tamanho do segmento é do tamanho da janela os tempos de execução

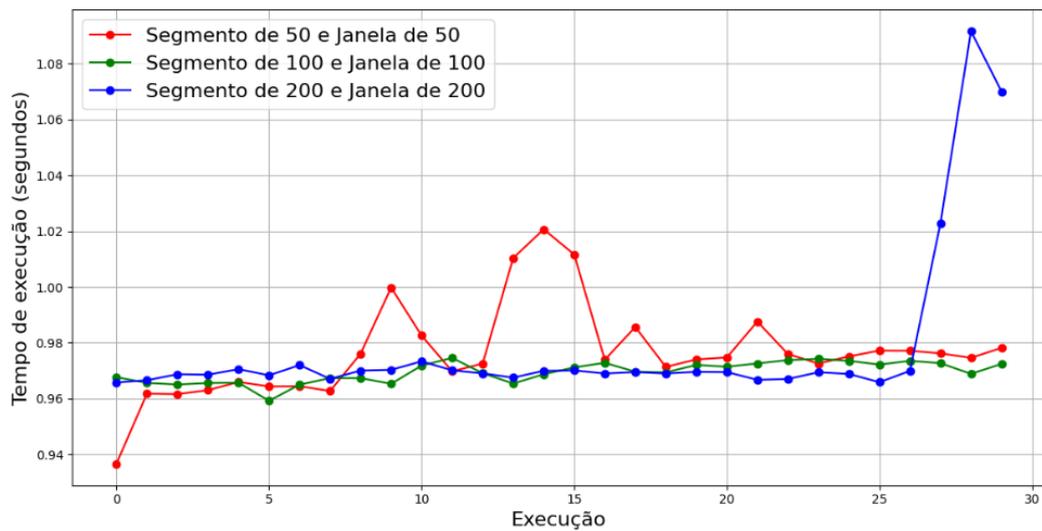
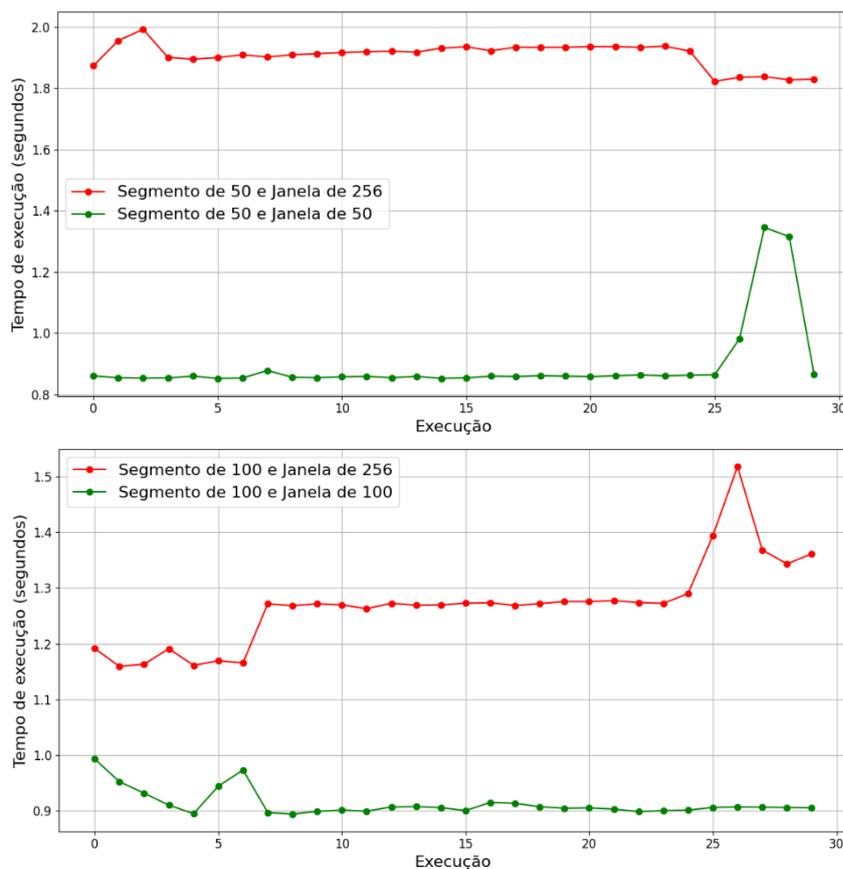


Figura 5 – Tempos de execução da TRF para segmentos do mesmo tamanho da janela

são semelhante. Na Figura 6 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos com segmentos e janelas do mesmo tamanho, como os segmentos de 50, 100 e 200 com uma janela de 256.



Os gráficos apresentados na Figura 6 ilustram claramente como o tamanho do segmento influencia no tempo de execução. É notável que, quando o segmento é diferente do tamanho da janela, o tempo de execução mostra oscilações maiores do que quando os segmentos e as janelas têm o mesmo tamanho. Isso sugere que uma análise mais precisa é obtida

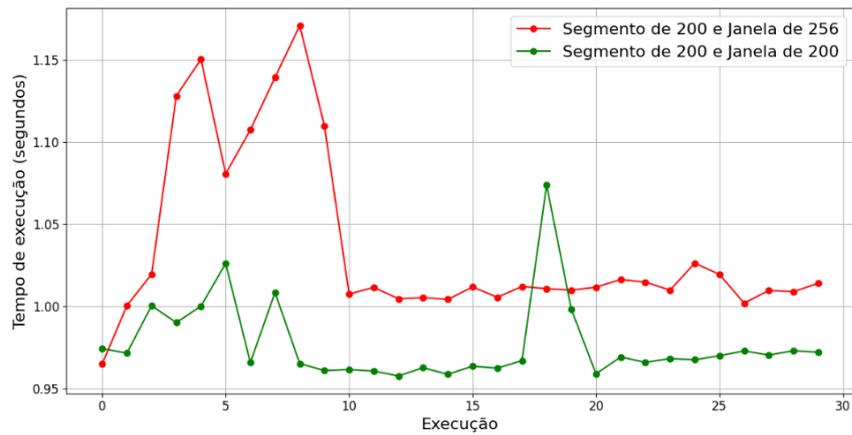
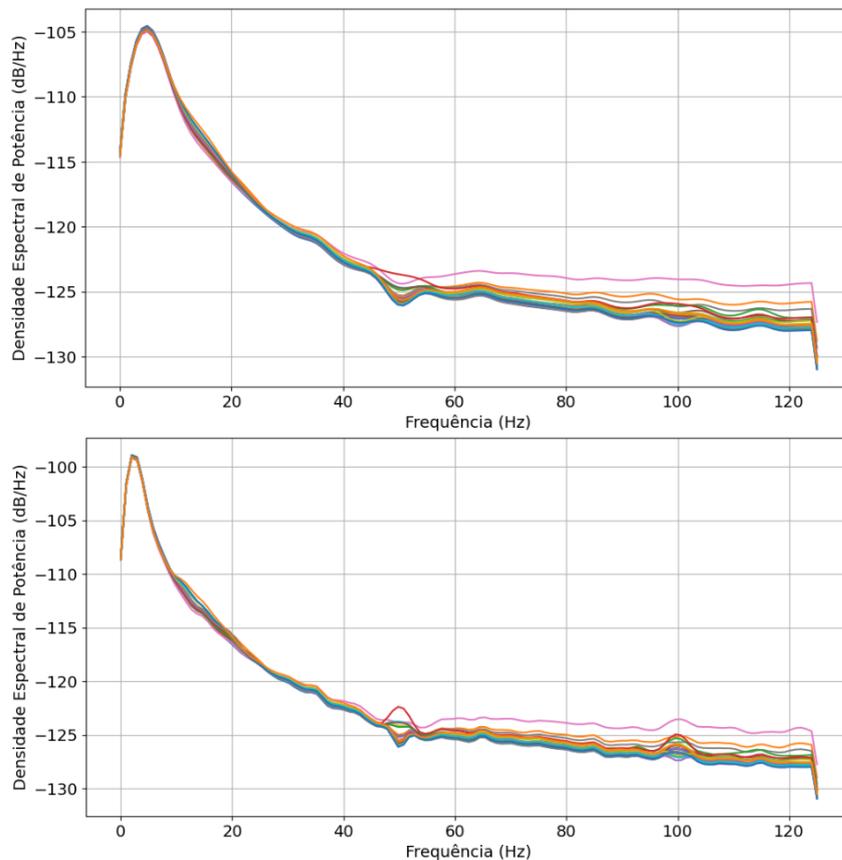


Figura 6 – Densidade Espectral de Potência com segmento 50, 100, 200 e janela de 50, 100, 200, 256

quando o tamanho do segmento se aproxima do tamanho da janela, resultado em menor oscilação no sinal final.

A Figura 7 apresenta os gráficos que representam a posição visual da DEP em relação à frequência para segmentos de 50, 100, 200 e janela de 256. Em cada gráfico, uma cor distinta representa um canal específico. Cada canal simboliza uma atividade elétrica capturada por eletrodos. No total, existem 22 canais, o que indica que 22 faixas de sinais elétricos foram obtidas da base de dados BCI IV.



Nos gráficos da Figura 7 pode-se observar uma alta densidade espectral diminui à medida que frequência aumenta. Este quadro é interrompido por valores e picos ao longo da

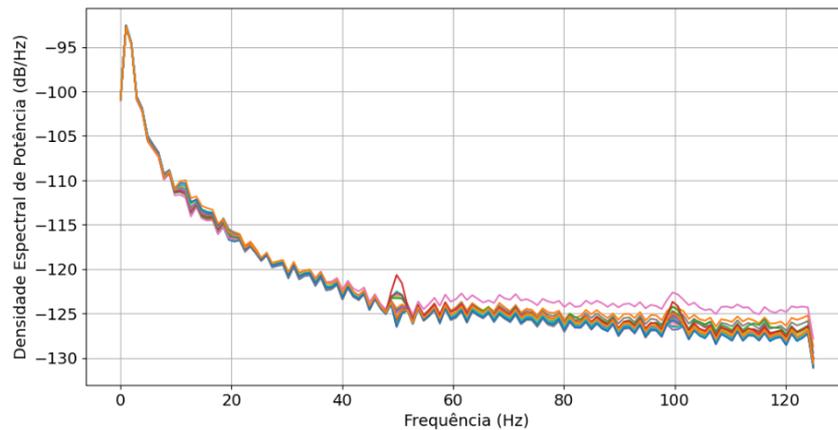


Figura 7 – Densidade Espectral de Potência com segmento 50, 100, 200 e janela de 256

execução, indicando variações na densidade espectral em diferentes frequências. Ademais, nota-se que quanto maior o segmento, maior é o intervalo da DEP. Em seguida, na Figura 8, são apresentados os resultados obtidos pela TRF com segmento e janela do mesmo tamanho, sendo eles de 50, 100 e 200.

Os resultados obtidos pelos segmentos e janelas da Figura 8 são bem semelhantes aos resultados exibido na Figura 7 com segmentos e janela diferentes. Dessa forma, pode-se destacar que a mudança entre segmentos e janela não tem grande impacto no resultado final da TRF.

Por fim, foi calculada uma média dos resultados obtidos nesses experimentos. De acordo com a Figura 7, os resultados dos segmentos de 50, 100, 200 e janela de 256 são, respectivamente, 2.47, 4.69 e 1.01. Da mesma forma, no gráfico da Figura 8, os resultados para os segmentos e janela de 50, 100 e 200 são, respectivamente, 2.39, 4,62 e 1.01. A partir desses resultados, é possível perceber que há uma variação muito pequena entre os resultados obtidos para um mesmo tamanho de segmento variando somente o tamanho da janela, exemplo: a diferença do resultado para o segmento de 50 na Figura 7 e na Figura 8 é apenas de 0.08. Em contraste, a diferença entre os resultados obtidos para segmentos de tamanho diferentes independente do tamanho da janela é muito grande, sendo que o resultado do segmento de tamanho 50 é quase de 100% em relação ao de 200 e o de 100 é basicamente 100% em relação ao de 50. Assim, pode-se concluir que o tamanho do segmento exerce uma influência significativa no DEP.

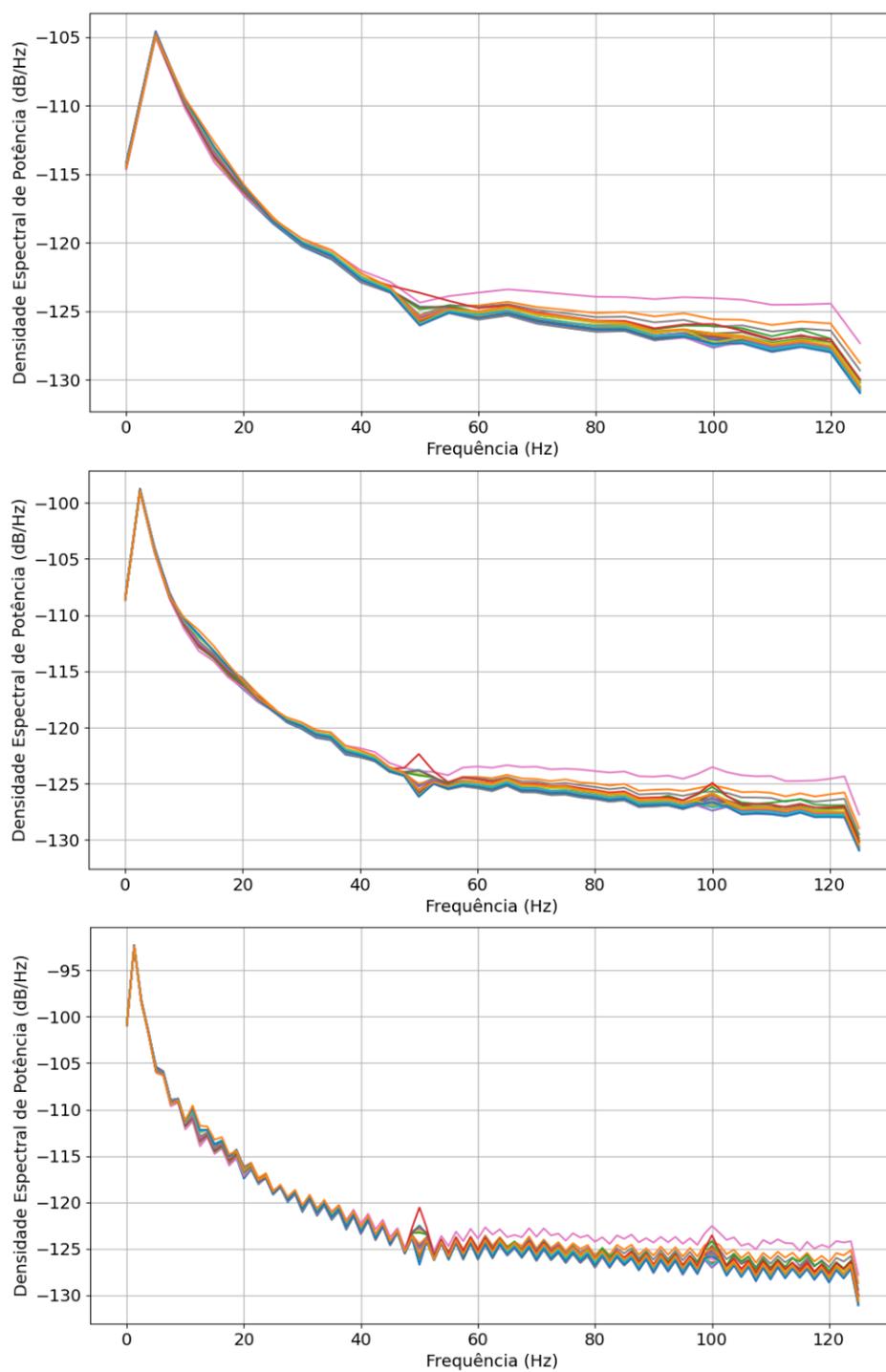


Figura 8 – Espectro de Potência com os segmentos e janelas de 50, 100 e 200

5 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise de usabilidade e desempenho de tempo com ferramentas gratuitas que possibilitam o processamento e uso de TF em sinais EEG.

Primeiramente, foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o EEG para se obter uma compreensão mais aprofunda do seu funcionamento. Posteriormente, foi feito um levantamento sobre a utilização da TF para o processamento de sinais e suas variações. Finalmente, foi realizado um levantamento sobre a utilização da TF em EEG.

Em um segundo momento, foram realizados testes de usabilidade e desempenho de tempo na ferramenta Jupyter Notebook com diversos testes. Os testes de usabilidade revelaram que, apesar de suas boas características, a ferramenta apresenta dificuldades na acessibilidade e na facilidade de uso. Além disso, no teste de desempenho de tempo foi observado que a utilização da TRF com diferentes segmentos influenciou apenas o tempo para executar o processamento, pois os resultados são os mesmos, independentemente da janela.

Dessa forma, a pergunta principal deste estudo foi respondida. Adicionalmente, foi possível obter uma compreensão sobre a aplicação de FT em sinais de EEG. Além disso, foi possível identificar lacunas que podem ser melhoradas para atender melhor às necessidades dos pesquisadores e médicos.

5.1 Direções para Futuras Pesquisas

Considerando os resultados obtidos nesse trabalho, é possível sugerir algumas direções para futuras pesquisas:

1. Desenvolvimento de algoritmos otimizados para TF em EEG: Considerando as diversas aplicações dos sinais EEG, futuras pesquisas poderiam explorar o aprimoramento nos algoritmos existentes ou o desenvolvimento de novos algoritmos para obter melhores resultados durante o processamento.
2. Acervo gratuito de aplicações da TF em EEG: futuras pesquisas poderiam desenvolver um acervo gratuito de aplicação de códigos abertos e gratuitos, com o objetivo de oferecer suporte a profissionais iniciantes na área.
3. Avaliação de desempenho e usabilidade de ferramentas pagas: Existem diversas ferramentas no mercado, pesquisas futuras poderiam analisar o desempenho dessas ferramentas, fornecendo informações essenciais para a escolha de uma ferramenta paga.

Referências

- AGUIAR, B.; CORREIA, W.; CAMPOS, F. Uso da escala likert na análise de jogos. *Salvador: SBC-Proceedings of SBGames Anais*, v. 7, n. 2, 2011. Citado na página 17.
- AL-SALMAN, W. et al. Extracting epileptic features in eegs using a dual-tree complex wavelet transform coupled with a classification algorithm. *Brain Research*, Elsevier, v. 1779, p. 147777, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 22.
- ALSHORMAN, O. et al. Frontal lobe real-time eeg analysis using machine learning techniques for mental stress detection. *Journal of Integrative Neuroscience*, IMR Press, v. 21, n. 1, p. 20, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 22.
- BARBOSA, S.; SILVA, B. *Interação humano-computador*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2010. Citado na página 16.
- BHASKAR, L. et al. High-frequency cerebral activation and interhemispheric synchronization following sudarshan kriya yoga as global brain rhythms: the state effects. *International Journal of Yoga*, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 13, n. 2, p. 130, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 22.
- BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. de O. *Elementos de amostragem*. [S.l.]: Editora Blucher, 2005. Citado na página 24.
- DAS, R. K. et al. A survey on eeg data analysis software. *Sci*, v. 5, n. 2, 2023. ISSN 2413-4155. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2413-4155/5/2/23>>. Citado na página 10.
- DKHIL, M. B.; WALI, A.; ALIM, A. M. Drowsy driver detection by eeg analysis using fast fourier transform. In: IEEE. *2015 15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*. [S.l.], 2015. p. 313–318. Citado na página 16.
- Eletroencefalograma. 2018. Disponível em: <<https://hilarion.com.br/eletroencefalograma/>>. Citado na página 14.
- ESPINELLI, J. H. C.; JR, D. G. B. Uso do eletroencefalograma e instrumentação virtual para análise do perfil do sono. 2011. Citado na página 15.
- GERAIS, M.; ELÉTRICA, E. Estudo de técnicas de processamento de sinais de eletroencefalograma (eeg) com enfoque em sinais convulsivos. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 14.
- GRITSUTENKO, S.; KOROVKIN, N. Applicability of a fast fourier transform for a harmonic analysis. In: EDP SCIENCES. *MATEC Web of Conferences*. [S.l.], 2018. v. 245, p. 10004. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- HALL, J. E. *Guyton e Hall Tratado de Fisiologia Médica*. 12th. ed. [S.l.]: Elsevier, 2021. ISBN 978-8535245385. Citado na página 14.
- HOGENDIJK, J.; WHITESIDE, a. E. S. D. *Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences*. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 9780387464084. Citado na página 28.

- JÚNIOR, S. D. d. S.; COSTA, F. J. Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de likert e phrase completion. *PMKT–Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia*, v. 15, n. 1-16, p. 61, 2014. Citado na página 17.
- JUSAS, V.; SAMUVEL, S. G. Classification of motor imagery using a combination of user-specific band and subject-specific band for brain-computer interface. *Applied Sciences*, MDPI, v. 9, n. 23, p. 4990, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 22.
- KURNIANADI, T. B.; SETIAWAN, F. B. Electroencephalograph recording with twenty electrode system based on arduino mega 2560. In: IEEE. *2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*. [S.l.], 2019. p. 160–164. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 22.
- LOURENÇO, E. S. et al. Eeg education in brazil: a national survey of adult neurology residents. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, v. 80, n. 1, p. 43–47, 2022. Citado na página 10.
- MACEDO¹, D. R. et al. Análise espectral de eletroencefalografia para registros patológicos. 2011. Citado 3 vezes nas páginas 10, 14 e 15.
- MAGNOTTI, J. F.; WANG, Z.; BEAUCHAMP, M. S. Rave: Comprehensive open-source software for reproducible analysis and visualization of intracranial eeg data. *NeuroImage*, Elsevier, v. 223, p. 117341, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 19, 21, 22 e 23.
- MANDHOIJ, B.; CHERNI, M. A.; SAYADI, M. An automated classification of eeg signals based on spectrogram and cnn for epilepsy diagnosis. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, Springer, v. 108, n. 1, p. 101–110, 2021. Citado na página 16.
- MEHLA, V. K.; SINGHAL, A.; SINGH, P. A novel approach for automated alcoholism detection using fourier decomposition method. *Journal of Neuroscience Methods*, Elsevier, v. 346, p. 108945, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 22.
- MORALES, S.; BOWERS, M. E. Time-frequency analysis methods and their application in developmental eeg data. *Developmental cognitive neuroscience*, Elsevier, v. 54, p. 101067, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 22.
- NAJARIAN, K.; SPLINTER, R. *Biomedical signal and image processing*. [S.l.]: Taylor & Francis, 2012. Citado na página 10.
- ÖZBEK, Y.; FIDE, E.; YENER, G. G. Resting-state eeg alpha/theta power ratio discriminates early-onset alzheimer’s disease from healthy controls. *Clinical Neurophysiology*, Elsevier, v. 132, n. 9, p. 2019–2031, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 22.
- PEI, Y. et al. A tensor-based frequency features combination method for brain–computer interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, v. 30, p. 465–475, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- PIRONDINI, E. et al. Computationally efficient algorithms for sparse, dynamic solutions to the eeg source localization problem. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, IEEE, v. 65, n. 6, p. 1359–1372, 2017. Citado na página 10.

- PUPIN, J. R.; SILVA, K. S.; CARBONE, V. L. Introdução às séries e transformadas de fourier e aplicações no processamento de sinais e imagens. *Trabalho (Conclusão de Curso)-Universidade Federal de Sao Carlos, Sao Carlos*, 2011. Citado na página 15.
- RIZAL, A.; PRIHARTI, W.; HADIYOSO, S. Seizure detection in epileptic eeg using short-time fourier transform and support vector machine. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, v. 17, n. 14, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.
- SAMIEE, K.; KOVACS, P.; GABBOUJ, M. Epileptic seizure classification of eeg time-series using rational discrete short-time fourier transform. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, IEEE, v. 62, n. 2, p. 541–552, 2014. Citado na página 16.
- SANTOS, W. et al. Análise estatística do eletrocorticograma durante o fenômeno da depressão alastrante em córtex cerebral de ratos nutridos e desnutridos. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007. Citado na página 14.
- SAWA, T.; YAMADA, T.; OBATA, Y. Power spectrum and spectrogram of eeg analysis during general anesthesia: Python-based computer programming analysis. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, Springer, p. 1–13, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- SIMFUKWE, C. et al. Cnn for a regression machine learning algorithm for predicting cognitive impairment using qeeg. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, Taylor & Francis, p. 851–863, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- SMIDT, E.; MEISSEL, K. The applicability of fourier transform infrared (ft-ir) spectroscopy in waste management. *Waste management*, Elsevier, v. 27, n. 2, p. 268–276, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 15.
- TABASSUM, N.; TABASSUM, N. Real-time drowsiness alert system from eeg signal based on fpga. In: IEEE. *2021 3rd International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE)*. [S.l.], 2021. p. 129–132. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- TEPE, C.; SAVAŞTAER, E. F. A computer-aided educational device and toolbox for biomedical signal processing at the undergraduate level. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 30, n. 6, p. 1725–1738, 2022. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cae.22552>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- WEISSTEIN, E. W. Fourier transform. <https://mathworld.wolfram.com/>, Wolfram Research, Inc., 2004. Acessado em: 14, dezembro, 2023. Citado na página 15.
- WELCH, P. The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*, IEEE, v. 15, n. 2, p. 70–73, 1967. Citado na página 15.
- Z Aid, Y.; SAH, M.; DIREKOGLU, C. Pre-processed and combined eeg data for epileptic seizure classification using deep learning. *Biomedical Signal Processing and Control*, Elsevier, v. 84, p. 104738, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- ZHANG, G. et al. A dynamic multi-scale network for eeg signal classification. *Frontiers in Neuroscience*, Frontiers Media SA, v. 14, p. 578255, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
(X) Monografia
() Artigo

Eu, **Wendel dos Santos Nunes**, autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de 02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar, gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação **Análise de usabilidade e desempenho de tempo para soluções em Eletroencefalograma usando Transformada de Fourier** de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 9 de fevereiro de 2024.

Assinatura