



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FABIANA BISPO DA SILVA

**USO DO ELETROENCEFALOGRAMA (EEG) PARA ESTUDO COMPARATIVO  
ENTRE TRADEOFF E ATIVIDADES DE CÁLCULO E MÚSICA**

Recife

2023

FABIANA BISPO DA SILVA

**USO DO ELETROENCEFALOGRAMA (EEG) PARA ESTUDO COMPARATIVO  
ENTRE TRADEOFF E ATIVIDADES DE CÁLCULO E MÚSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.

Recife

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586u	Silva, Fabiana Bispo da. Uso do eletroencefalograma (EEG) para estudo comparativo entre tradeoff e atividades de cálculo e música / Fabiana Bispo da Silva. – 2023. 69 f.: il., fig., quad., tab.  Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Recife, 2023. Inclui referências.  1. Engenharia de produção. 2. Neurociência. 3. Decisão. 4. Decisão multicritério. 5. Procedimento <i>Tradeoff</i> . 6. Eletroencefalograma. 7. Cálculo. 8. Música. I. Costa, Ana Paula Cabral Seixas (Orientadora). II. Título.  UFPE  658.5 CDD (22. ed.)  BCTG/2023-158
-------	--

FABIANA BISPO DA SILVA

**USO DO ELETROENCEFALOGRAMA (EEG) PARA ESTUDO COMPARATIVO  
ENTRE TRADEOFF E ATIVIDADES DE CÁLCULO E MÚSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 14/02/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Danielle Costa Moraes (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas (Examinador Externo)  
Universidade Federal Fluminense

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua infinita sabedoria esteve sempre, mesmo quando não percebi, orientando e inspirando meu caminho de vida; sem Ele nada disso seria possível. Obrigada por iluminar tanto a minha trajetória e me dar esperança e fé que isso tudo seria possível. Também a Nossa Senhora, minha maior intercessora, que por muitas noites foi meu consolo e minha companhia.

O mestrado foi muito desafiador, precisei sair da minha zona de conforto, mudar de cidade, ficar longe dos meus familiares e amigos, entrar em um mundo totalmente novo e a cada etapa da jornada foram desafios diferentes, e para completar essa etapa tive que superar vários e não teria chegado onde estou se não fosse por diversos anjos que eu tenho o prazer de ter em minha vida.

Agradeço a minha família, por sempre acreditar em mim e me apoiar em tudo o que eu faço. A minha mãe, Gilcelia, pelo amor incondicional, força e garra que a fez enfrentar inúmeros obstáculos para que o meu sonho pudesse ser realizado e principalmente pelo apoio demonstrado sempre ao longo da minha vida, pelo carinho e por me dar segurança. As minhas tias Gilvania e Helena, pelo apoio irrestrito ao longo da minha vida, por sonharem comigo e não ter medido e não medir esforços para que esses sonhos se tornem realidade, mesmo que muitas vezes pareçam impossível, pelas palavras de incentivo e por não me deixarem desistir.

Às minhas irmãs, Danielli e Aurina, que por muitas vezes foram abrigo e proteção, que me fizeram rir dos meus defeitos e dos meus medos, que foram alicerce e estavam sempre junto me fazendo lembrar das coisas que realmente importam na vida, que não me deixaram cair, pois estavam lá pra me segurar e me mostrar a direção, pelo amor e carinho bruto de sempre. Os meus sobrinhos, Maria Heloisa, Maria Clara e Miguel, que me fizeram ter mais vontade de completar esse processo, por me arrancar as risadas mais sinceras, pelo carinho e amor inocente, por ser minha distração e por me fazer desacelerar.

Aos meus amigos, por terem me acompanhado até aqui, se não fossem por eles seria impossível estar onde estou, sou muito abençoada por ter tantas pessoas sensacionais na minha vida, amo cada um de vocês. A Wallyanne e Raí, que desde a graduação e durante todo o mestrado aceitou esse desafio, que foram o meu trio, por segurarmos juntos na mão um do outro e remar contra a corrente, pelas muitas risadas, os choros e as noites viradas estudando ou só conversando para amenizar as angústias e preocupações. A Vanessa Regina, pela recepção, atenção, carinho e suporte fornecido. A Vanessa Emanuelle, que foi o meu ponto de apoio, minha família em Recife, obrigada pela paciência, pelo cuidado, atenção e amor. Aos

novos amigos que fiz durante o período do mestrado, os meus companheiros dessa caminhada, vocês deixaram o caminho mais especial.

Agradeço aos meus companheiros de laboratório, que foram mais que um grupo de trabalho, obrigada por animarem o laboratório, obrigada por dividir os momentos felizes e obrigada por compartilhar o desespero também, nossas risadas e lágrimas foram essenciais para que eu pudesse tomar todas as decisões e por ser possível concluir essa dissertação, sinto um carinho imenso por vocês. A Gabrielly Cunha, que foi mais que uma companheira de sala, se tornou a minha duplinha e confidente. À equipe do laboratório NSID e aos professores do PPGEP pelo empenho e qualidade em suas atribuições, em especial ao Anderson Carneiro, pelos conselhos, sugestões e suporte essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Cabral Seixas Costa, pela orientação e por ter acreditado e investido em mim com esse tema tão desafiador.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro prestado durante todo esse período, possibilitando a concretização desta pesquisa.

Ao *NeuroScience for Information and Decision Laboratory* da Universidade Federal de Pernambuco por todo o suporte oferecido para a realização desse trabalho.

Por fim, a todos aqueles que, mesmo não citados aqui, me ajudaram, direta ou indiretamente, de alguma maneira na conclusão desta importante etapa da minha vida.

A todos vocês, meu muito obrigada!

## RESUMO

O processo decisório está presente rotineiramente nas diferentes áreas da vida dos indivíduos, incluindo o âmbito pessoal e profissional. A tomada de decisão envolve parâmetros psicofisiológicos individuais de cada ser humano, os quais podem ser avaliados com auxílio da neurociência. À medida que as opções de escolha aumentam, subentende-se que o nível de dificuldade em tomar decisões aumenta proporcionalmente, sobretudo, quando diferentes critérios estão associados, caracterizando um problema de Decisão Multicritério. No âmbito profissional os procedimentos de apoio a decisão surgem como importantes ferramentas auxiliares nos processos decisórios que permitem otimizar e agilizar o processo de tomada de decisão, promovendo-o da maneira mais assertiva possível. Este estudo utilizou o equipamento eletroencefalograma (EEG) para analisar o esforço cognitivo de alunos dos cursos de Administração e Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, ao realizar atividades de cálculo e música e, adicionalmente, utilizando um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) baseado procedimento *Tradeoff* para tomada de decisão multicritério. Uma amostra final de 35 participantes foi avaliada, onde foi possível constatar a ativação da função cerebral que atua de modo automático para o grupo de até cinco critérios e acima de cinco critérios tanto para abanda teta e quanto para banda alfa. Os resultados demonstram o maior esforço cognitivo demandado para resolver problemas multicritério, conforme esperado, ao passo que enfatiza a importância do *Tradeoff* para auxiliar a tomada de decisão. Além disto, o estudo destaca a importância de concentração dos participantes durante a execução do procedimento *Tradeoff*, o que permitirá resultados ainda mais satisfatórios com o uso do SAD. Este estudo destaca a importância da utilização de dados da neurociência para auxiliar o desenvolvimento e melhoria de sistemas voltados à tomada de decisão multicritério, bem como, insights de como o analista deve interagir com o decisor.

Palavras-chave: neurociência; decisão; decisão multicritério; procedimento *Tradeoff*; eletroencefalograma; cálculo; música.

## ABSTRACT

The decision-making process is constantly present in different areas of individuals' lives, including the personal and professional spheres. Decision making involves individual psychophysiological parameters of each human being, which can be supported with the help of neuroscience. As the choice options increase, it is understood that the level of difficulty in making decisions increases proportionally, especially when different criteria are associated, characterizing a Multicriteria Decision problem. In the professional scope, decision support procedures emerge as important auxiliary tools in decision-making processes that allow optimizing and streamlining the decision-making process, promoting it in the most assertive way possible. This study used the electroencephalogram (EEG) equipment to analyze the cognitive performance of students of the Administration and Production Engineering courses at the Federal University of Pernambuco, when performing calculation and music activities and, additionally, using a Decision Support System (DSS) based on the Tradeoff procedure for multicriteria decision making. A final sample of 35 participants was evaluated, where it was possible to verify the activation of the brain function that acts automatically for the group of up to five criteria and above five criteria for both the theta band and alpha band. The results demonstrate the greater cognitive effort required to solve multicriteria problems, as expected, while emphasizing the importance of the Tradeoff to aid decision making. In addition, the study highlights the importance of participants' concentration during the execution of the Tradeoff procedure, which will allow even stronger results with the use of DSS. This study highlights the importance of using neuroscience data to help the development and improvement of systems aimed at multicriteria decision making, insights into how the analyst should interact with the decision maker.

Keywords: neuroscience; decision; multicriteria decision; Tradeoff procedure; electroencephalogram; calculus music.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Estrutura metodológica .....	16
Figura 2 –	Procedimento de execução do experimento .....	17
Figura 3 –	Estrutura do trabalho .....	18
Figura 4 –	Ferramentas de Neurociência. (A): Tubo de Ressonância magnética; (B): Eletroencefalograma – EEG; (C): Eye-Tracking; (D): Skin Conductance Response-SCR .....	25
Quadro 1 –	Bandas de frequência cerebral .....	26
Figura 5 –	Tobii x120 .....	32
Figura 6 –	Emotiv Epoc .....	33
Figura 7 –	Localização dos eletrodos do Emotiv Epoc .....	33
Figura 8 –	Configurações do Eye Tracking Tobii x120 .....	34
Figura 9 –	Processo de calibração .....	34
Figura 10 –	Calibração dos olhos no Eye Tracking Tobii x120.....	35
Figura 11 –	Cálculos aritméticos e opções de resposta exibidas no experimento.....	36
Figura 12 –	Títulos das músicas e artistas apresentados neste experimento.....	37
Figura 13 –	Tela inicial do software Tradeoff .....	38
Figura 14 –	Avaliação da função parcial .....	39
Figura 15 –	Ordenação de critérios .....	39
Figura 16 –	Exploração do espaço consequência .....	40
Figura 17 –	Determinação de constantes de escala .....	40
Figura 18 –	Avaliação de inconsistências .....	41
Figura 19 –	Questionário de satisfação .....	41
Figura 20 –	Metodologia experimental empregada no estudo .....	42
Figura 21 –	Blocos comparativos das análises .....	44
Quadro 2 –	Resumo dos resultados das análises realizadas .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Planilha padrão para importação para o software .....	38
Tabela 2 –	Demonstração da comparação das amostras BANDA TETA – CANAL F3 para o grupo de problemas com até cinco critérios.....	46
Tabela 3 –	Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA TETA .....	47
Tabela 4 –	Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA TETA .....	47
Tabela 5 –	Demonstração da comparação das amostras BANDA TETA – CANAL F3 para o grupo de problemas com mais de 5 critérios.....	48
Tabela 6 –	Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de acima de 5 critérios – BANDA TETA .....	49
Tabela 7 –	Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA TETA .....	50
Tabela 8 –	Demonstração da comparação das amostras BANDA ALFA – CANAL F3 para o grupo de problemas com até cinco critérios .....	51
Tabela 9 –	Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA ALFA .....	52
Tabela 10 –	Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo até 5 critérios – BANDA ALFA .....	53
Tabela 11 –	Demonstração da comparação das amostras BANDA ALFA – CANAL F3 para o grupo de problemas com mais de cinco critérios.....	54
Tabela 12 –	Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA ALFA.....	54
Tabela 13 –	Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA ALFA.....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	14
1.2	OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
1.3	MÉTODO DE PESQUISA .....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
<b>2.1.1</b>	<b>Decisão Multicritério e o procedimento <i>Tradeoff</i> .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Neurociência em decisão .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Ferramentas de neurociência.....</b>	<b>23</b>
2.2	REVISÃO DA LITERATURA .....	27
<b>2.2.1</b>	<b>Estudos comportamentais em decisão..... Err</b>	<b>27</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Neurociência e decisão multicritério .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Síntese do estado da arte .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTOS .....</b>	<b>31</b>
3.1	EXPERIMENTO DE CÁLCULO E MÚSICA .....	35
<b>3.1.1</b>	<b>Experimento de Cálculo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Experimento de Música .....</b>	<b>36</b>
3.2	ELICITAÇÃO COM O SAD DO <i>TRADEOFF</i> .....	37
3.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E <i>INSIGHTS</i> .....</b>	<b>43</b>
4.1	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	43
<b>4.1.1</b>	<b>Análise banda teta .....</b>	<b>45</b>
4.1.1.1	Problemas com até cinco critérios .....	45
4.1.1.2	Problemas com mais do que cinco critérios .....	48
<b>4.1.2</b>	<b>Análise banda alfa .....</b>	<b>50</b>
4.1.2.1	Problemas com até cinco critérios .....	51
4.1.2.2	Problemas com mais do que cinco critérios .....	53
4.2	DISCUSSÃO .....	56

4.3	INSIGHTS .....	59
4.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>61</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	61
5.2	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	62
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Decisões, simples e complexas, estão presentes constantemente em nosso cotidiano, seja no âmbito profissional ou pessoal. Neste sentido, compreender e estruturar todos os aspectos relacionados ao problema é de suma importância, para que a escolha e decisão seja realizada da forma mais assertiva possível (ANDRADE; MORAIS, 2019). A tomada de decisão pode ser conflituosa, sobretudo, quando se têm mais de uma alternativa de escolha para atender múltiplos objetivos de um problema, os quais, podem ser divergentes entre si. De Almeida *et al.* (2015) define tais conflitos como Problemas de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making/Aiding – MCDM/A*), que são caracterizados, por possuírem ao menos duas alternativas de ação e são avaliados por meio dos atributos/critérios.

Um problema multicritério, torna a tomada de decisão ainda mais complexa e, assim, métodos que possam contribuir com esse processo são essenciais para auxiliar o decisor, de maneira prática e clara, na escolha da melhor decisão, que possa culminar em um resultado satisfatório para ambos os componentes do problema. Os métodos e procedimentos multicritério surgem como apoio a tomada de decisão, e são amplamente utilizados para resolver diversos tipos de problemáticas, tornando-se fundamentais a fim de gerar recomendações que apoiem os decisores por meio de uma abordagem estruturada (DA SILVA; COSTA, DE ALMEIDA, 2021).

Dentre as abordagens utilizadas para tomadas de decisão multicritério, destaca-se o procedimento *Tradeoff*, desenvolvido por Kenney e Raiffa (1976) e voltado para a elicitación completa dos valores das constantes de escala dos critérios por meio de comparações, sendo uma abordagem baseada nas preferências do decisor (PEREIRA; MORAIS, 2020). De acordo com de Almeida *et al.* (2013), o *Tradeoff* caracteriza-se por duas consequências entre as quais o decisor é indiferente e pode-se realizar uma troca entre elas, ou seja, esse procedimento concede uma elicitación completa dos valores das constantes da escala para cada critério, por meio de comparações pareadas. O procedimento *Tradeoff* apresenta uma estrutura axiomática robusta, que, fundamentalmente, está ligada à identificação do ponto de indiferença nas comparações feitas entre consequências hipotéticas (KEENEY; RAIFFA, 1976).

A elicitación de preferências utilizando o procedimento *Tradeoff* permite a determinação das constantes de escala dos critérios, mas requer um alto esforço cognitivo ao decisor por exigir a determinação dos pontos exatos de indiferença entre as consequências (PEREIRA; MORAIS, 2020). Além disto, caso seja demandado muitas informações e perguntas, é

possível que surjam algumas inconsistências no processo de elicitación de preferência, influenciando de maneira negativa a resposta final e, conseqüentemente, na satisfação do decisor. O esforço cognitivo exigido na tomada de decisão pode variar de acordo com o problema que está sendo analisado, a quantidade de alternativas, de critérios e principalmente com o padrão comportamental do decisor, os quais influenciam diretamente os resultados (ANDRADE; MORAIS, 2019).

Leotti, Yengar e Ochsner (2010) afirmam que o ser humano “nasceu para escolher”, mesmo à custa da racionalidade. Em contraste, de acordo com descobertas de um grupo de psicólogos, apresentadas por Eagleman (2015), os seres humanos nem sempre agem de maneira totalmente racional, existindo uma integração de aspectos de consciência, ou seja, racionais, e inconsciência em diversas situações da vida, isto é, o ser humano não utiliza apenas a razão ao tomar decisões, eles são motivados tanto por aspectos irracionais como racionais que estão relacionados com o inconsciente humano. Desta forma, compreender os aspectos que interferem no comportamento do decisor durante a formação de preferência é crucial para o entendimento dos aspectos envolvidos no processo decisório, promovendo uma maior aproximação entre os fatores comportamentais ligados ao processo de tomada de decisão e as modelagens existentes na literatura (PEREIRA; MORAIS, 2020).

É nesse contexto que a neurociência se encontra, buscando obter mais informações acerca do comportamento humano através dos processos cerebrais (ANDRADE; MORAIS, 2019). De acordo com Plassmann *et al.* (2015), as medidas fisiológicas obtidas a partir das ferramentas da neurociência permitem uma identificação melhorada das preferências do decisor e uma aprimoração das previsões de comportamento, se comparado a dados obtidos a partir de emoções. Dentre os equipamentos comumente utilizados, ressalta-se o eletroencefalograma (EEG), que é responsável por mensurar as atividades elétricas do cérebro na resolução de milissegundos e é um dos equipamentos não invasivos que auxilia nos estudos dos correlatos neurais da cognição e comportamento humano (REUTER; MONTANG 2016). A partir dele, é possível compreender os fatores que afetam a tomada de decisão.

Assim, nesse estudo, buscou-se analisar os aspectos cognitivos no decorrer das etapas do Sistema de Apoio a Decisão (SAD) baseado no procedimento *Tradeoff*, com o auxílio do eletroencefalograma (EEG), comparando-os com as atividades cerebrais dos decisores enquanto eles realizavam cálculos matemáticos e assistiam a clipes musicais em um outro momento. Neste estudo, dados de 35 alunos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) foram considerados.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Os métodos de apoio a decisão multicritério surgem como apoio a tomada de decisão, e são amplamente utilizados para resolver diversos problemas. A crescente necessidade de estudos com relação ao comportamento e às atitudes do decisor no processo de tomada de decisão multicritério tornou-se mais aparente nos últimos anos e a neurociência pode prestar um suporte na tomada de decisão, onde os aspectos psicofisiológicos serão analisados e poderão agregar valor para o processo de tomada de decisão.

Essa pesquisa justifica-se à medida que corrobora para evolução da literatura, relacionada à realidade comportamental dos decisores na tomada de decisão de problemas MCDM/A e, integra a aplicação das ferramentas da neurociência para capturar as variáveis não controladas pelo decisor, garantindo maior compreensão dos processos decisórios e situações diversas que requerem esforços cognitivos de níveis variados do decisor.

Segundo Almeida et al. (2013), o procedimento de elicitação com *Tradeoff* tem como vantagem a possível incorporação de uma avaliação intracritério que possui valores não lineares, sendo considerado um dos mais rigorosos quando se está analisando a sua estrutura axiomática. No entanto, não são considerados aspectos comportamentais e emocionais relacionados ao inconsciente humano, o que pode influenciar no alto índice de inconsistências no procedimento.

Há uma lacuna na literatura no que se refere à abordagem do método multicritério de apoio a decisão, relacionados aos aspectos inconscientes que acontece durante o processo decisório, focando basicamente na análise matemática (Korhonen e Wallenius, 1997, Hunt et al., 2014). A neurociência, em conjunto com os estudos comportamentais, busca preencher essas lacunas, visando explicar, a partir do entendimento do sistema neural, as relações deste em outros processos do corpo humano sendo muito relevante para diversas áreas do conhecimento.

Sendo assim, a partir deste trabalho, pode-se melhor compreender o processo de decisão e até mesmo auxiliar o analista na relação com o decisor em busca da melhor alternativa para o problema enfrentado. Adicionalmente, este estudo pode apresentar sugestões para melhoria do SAD, tais como novas visualizações ou modificações na interface atual.

A relevância do presente trabalho pôde ser observada na integração de aspectos comportamentais, advindos da abordagem de neurociência, ao processo de apoio a decisão multicritério, de maneira a ampliar a forma como esses processos decisórios podem ser

estudados, aprofundando-se na exploração das questões comportamentais que estão relacionadas com as escolhas feita pelo indivíduo.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os aspectos cognitivos no decorrer das etapas do procedimento *Tradeoff*, com o auxílio do EEG, comparando-os com as atividades cerebrais dos decisores enquanto realizavam cálculos matemáticos e assistiam a clipes musicais em um outro momento.

### 1.2.3 Objetivo Específicos

- Explorar o uso de abordagens de neurociência com um EEG para avaliar o comportamento de decisores durante o processo de decisão multicritério com o SAD do *Tradeoff*;
- Avaliar os níveis de esforço cognitivo e atenção em diferentes situações de decisão multicritério com o SAD do *Tradeoff* e como elas se relacionam;
- Gerar *insights* e recomendações gerais para o processo de tomada de decisão multicritério com o SAD do *Tradeoff* diante dos resultados comportamentais.

## 1.3 MÉTODO DE PESQUISA

Gil (2017) explica a pesquisa como um procedimento sistemático e racional que tem por finalidade resolver questões e problemas propostos. Segundo Miguel et al (2012), pode-se classificar a pesquisa de acordo com seus objetivos, natureza, finalidade e dados. O presente estudo consiste em uma pesquisa do tipo exploratória, pois busca investigar o comportamento dos decisores quando determinam as suas preferências, a partir de pesquisa bibliográfica e experimentação (GIL, 2017). Quanto a natureza, esse trabalho é classificado como combinado do tipo incorporado, sendo predominantemente qualitativo, pois apesar da realização de análises estatísticas para obtenção dos resultados, as análises foram conduzidas a partir da abordagem qualitativa (MARTINS, 2012). Quanto a finalidade, trata-se de um estudo aplicado, pois envolve experimentos práticos que possibilitarão a aplicação de seus resultados em diversas situações (MIGUEL et al, 2012).

Figura 1 – Estrutura metodológica

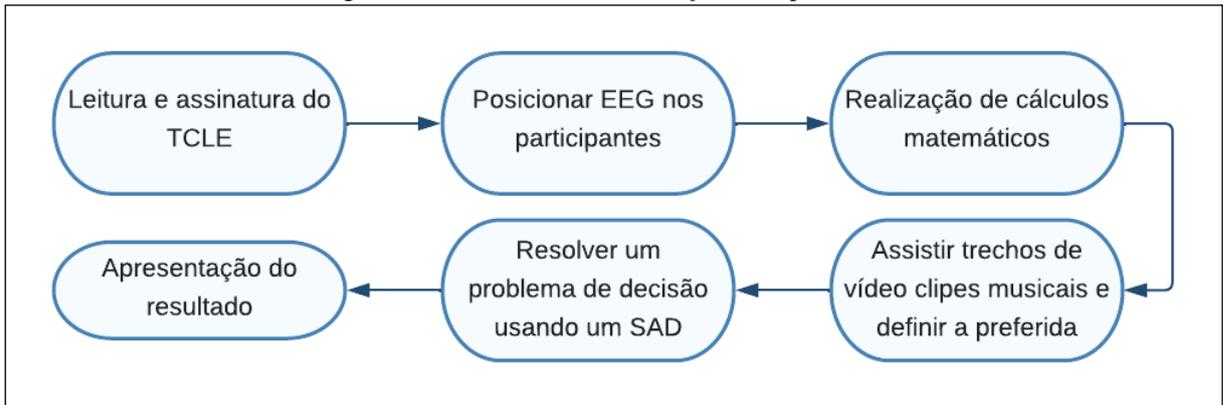


Fonte: A Autora (2023)

Esta pesquisa foi realizada na UFPE, mais precisamente no laboratório *Neuroscience for Information and Decision* (NSID). O trabalho utilizou os dados obtidos em dois experimentos realizados em 2019 que fizeram uso de um equipamento de EEG de 14 canais, o Emotiv EPOC+. Este equipamento registra a atividade eletromagnética cerebral, as áreas corticais de ativação cerebral com alta precisão temporal durante execução de experimentos controlados, permitindo registrar as oscilações nas ondas cerebrais cujas amplitudes e frequências representam determinados estados mentais, a exemplos de: estados de relaxamento, estados de sono, estados de vigília, dentre outros. O EEG faz a captura da atividade eletromagnética cerebral, direto no couro cabeludo e permite a localização das áreas de ativação cerebral e a identificação de funções mentais complexas como a atenção, memória, linguagem ou tomada de decisão. A amostra foi composta por alunos de graduação, mestrado e doutorado da UFPE com idades entre 18 e 40 anos.

Com relação aos experimentos realizados que geraram os dados utilizados nesse estudo, primeiramente os participantes realizaram a leitura das instruções para o estudo, tiraram dúvidas e assinaram o termo de consentimento aprovado pelo Comitê de Ética da UFPE. Com o EEG posicionado adequadamente, os participantes realizaram cálculos matemáticos na primeira parte do experimento. Posteriormente, assistiram trechos de vídeo clips musicais e definiram a preferida. Para finalizar, na terceira etapa do experimento, os alunos resolveram um problema de decisão desenvolvido por cada um, usando um SAD com a implementação do procedimento de elicitación *tradeoff*. Ao final, o *software* apresentou uma tabela com a ordem de preferência do participante, obtida a partir das informações de preferência fornecidas pelo decisor. A Figura 2 apresenta, de forma resumida o procedimento de execução do experimento.

Figura 2 – Procedimento de execução do experimento



Fonte: A Autora (2023)

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O capítulo 1, a Introdução, tem como objetivo apresentar o contexto geral no qual foi desenvolvida a pesquisa, apresentando os principais pontos, bem como a justificativa e relevância, os motivos que levaram a escolha do tema, os objetivos do trabalho e os métodos usados para desenvolvimento do trabalho.

No segundo capítulo, encontra-se o referencial teórico e a revisão da literatura, abordando os estudos que serviram como base teórica para o desenvolvimento da pesquisa, composto por decisão multicritério, procedimento *Tradeoff*, neurociência em decisão, ferramentas de decisão, além de uma síntese do estado da arte sobre estudos comportamentais em decisão e neurociência em decisão multicritério.

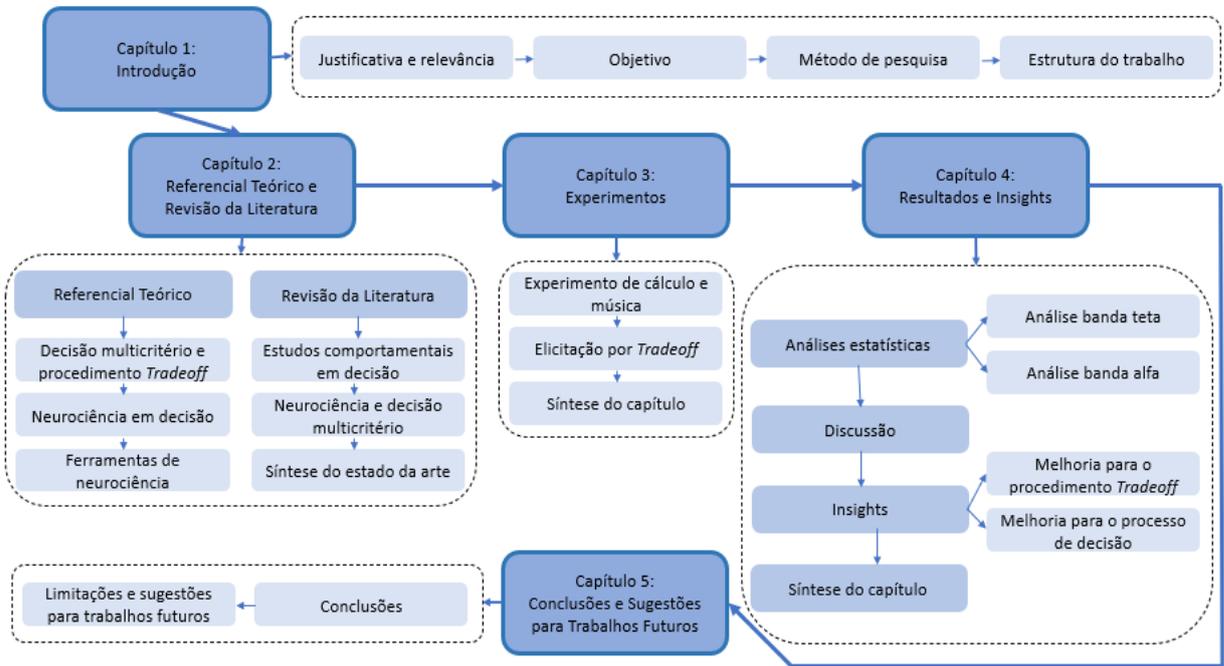
O terceiro capítulo descreve em detalhes o experimento que foi realizado, suas etapas, os equipamentos e softwares usados no experimento e as etapas do SAD baseado no procedimento *Tradeoff*.

No capítulo quatro, estão os resultados e discussões e os *insights* gerados com a presente pesquisa. Nesse capítulo é apresentada como foram feitas as análises estatísticas para as bandas de frequência cerebral teta e alfa coletadas pelo eletroencefalograma. A discussão é construída aqui, buscando contribuir tanto com melhorias para o procedimento *Tradeoff* quanto com melhorias para o processo decisório.

Por fim, o quinto capítulo traz as conclusões do estudo e suas contribuições, discutindo, também, as suas limitações e apresentando sugestões para trabalhos futuros.

A Figura 3 descreve a estrutura desta dissertação, indicando as relações entre os capítulos e seções.

Figura 3 – Estrutura do trabalho



Fonte: A Autora (2023)

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico dos temas tratados nesta pesquisa, utilizando-se, para isso, das principais referências. Os temas são: decisão multicritério, procedimento *Tradeoff*, neurociência em decisão e ferramentas de neurociência. É apresentado, também, o estado da arte sobre estudos comportamentais em decisão, como em neurociência e decisão multicritério, fornecendo, em seguida, o posicionamento deste trabalho.

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Decisão Multicritério e o procedimento *Tradeoff*

Problemas de decisão multicritério são definidos como: “problemas que contém mais de uma alternativa”, sendo avaliados em mais de um atributo, os quais são responsáveis por estimar os objetivos do problema (DE ALMEIDA, 2013). A tomada de decisão está presente diariamente em várias situações, tanto pessoais, como por exemplo na escolha de um celular novo ou de uma casa/apartamento, quanto profissionais como, a seleção/escolha de fornecedores de uma nova instalação fabril.

Andrade e Morais (2019) destacam que adotar um modelo de decisão formal ajuda as organizações a visualizarem suas alternativas, suas consequências e quais devem ser as ações que podem ser realizadas. Existe uma série de métodos de apoio a decisão presentes na literatura que foram desenvolvidos para atender problemas multicritério, tendo cada um deles características próprias, adequadas à problemática enfrentada e às preferências do decisor, buscando apoiá-lo na resolução de problemas de decisão onde várias alternativas e múltiplos critérios estão envolvidos.

Os modelos de decisão podem ser classificados, portanto, como representações simplificadas da situação problema enfrentada, enquanto os métodos de apoio a decisão são os responsáveis por estabelecer a estrutura de preferência do decisor, autorizando que sejam feitas avaliações das alternativas que estão no problema (DE ALMEIDA, 2013). Neste sentido, há várias classificações para os métodos existentes, sendo uma delas apresentada por Roy et al. (1996) e consiste em: Métodos de Critério Único de Síntese – como exemplo Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) e Métodos de Agregação Aditivo Determinístico (Keeney and Raiffa 1976); Métodos de Sobreclassificação – como exemplo família dos Métodos ELECTRE (Roy et al. 1996) e PROMETHEE (Vincke and Brans 1985) e por fim; Métodos Interativos.

Além desta, existe uma outra classificação muito relevante na literatura, que busca realizar uma pré-seleção do conjunto de métodos indicados para resolver a problemática abordada pelo decisor, categorizando-os em: métodos compensatórios e não compensatórios. Métodos compensatórios são caracterizados pela existência de uma racionalidade compensatória para o decisor, ou seja, é admitido que um menor desempenho em uma alternativa para um dado critério pode ser compensado pelo melhor desempenho dela em outro critério. Em contrapartida, os métodos não compensatórios são caracterizados como aqueles onde não há esta racionalidade, ou seja, os decisores avaliam se uma alternativa é superior a outra, dentro de um mesmo critério, não sendo relevante o quanto esta é ou não superior, realizando, neste caso, comparações pareadas.

Dentro do grupo dos métodos compensatórios, encontram-se os modelos de agregação aditiva determinístico no qual, no escopo da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT) (KEENE; RAIFFA, 1976), as alternativas recebem um valor global, os quais são calculados com base na equação 1.

$$v(a_1) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a_i) \quad (1)$$

Onde  $k_j$  é a constante de escala desse critério, normalizada conforme apresentado na equação 2, necessária porque critérios diferentes podem estar definidos em escalas diferentes de valores.

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1; k_j \geq 0 \quad (2)$$

E  $v_j(a_i)$  é a função valor intracritério que define o valor de avaliação da alternativa  $i$  no critério  $j$ . A solução do problema de escolha será a alternativa que obtiver maior valor global  $v_j(a_i)$ . Segundo Frej, de Almeida e Costa (2019), na problemática de ordenação, as alternativas serão ranqueadas em ordem decrescente de  $v_j(a_i)$ , já na problemática de classificação, as alternativas serão classificadas com base no valor global dos perfis das classes.

As constantes de escala não significam apenas o grau de importância dos critérios, mas considera o range de valores das consequências das alternativas nos critérios, causando uma certa dificuldade na determinação dos seus valores. Sendo assim, para definir os valores de  $v_j(a_i)$ , as preferências do decisor devem ser analisadas a partir dos valores das consequências em cada critério. Desta forma, vários procedimentos têm sido desenvolvidos como o procedimento *Tradeoff*, desenvolvido por Keeney e Raiffa (1976), o qual possui

estrutura axiomática robusta, e admite a agregação de função valor intracritério linear ou não linear, diferente do que ocorre no procedimento de *swing* (VON WINTERFELDT; EDWARDS, 1986). No procedimento *Tradeoff*, as constantes são obtidas através da comparação de consequências hipotéticas até que se encontrem pontos de indiferença entre os valores dos critérios. Apesar de suas vantagens, tal procedimento, demanda, muitas vezes, alto esforço cognitivo do decisor, como consequência disso, são observadas altas taxas de inconsistências, chegando a 67% conforme estudos comportamentais. Tais inconsistências representam desvios nas preferências do decisor, levando a prejuízos na qualidade do modelo de decisão e, por consequência, das recomendações de decisão que não passam a não traduzir as reais preferências do decisor (WEBER & BORCHERDING, 1993).

### **2.1.2 Neurociência em decisão**

O processo decisório pode ser longo e exigir alto esforço cognitivo, impactando negativamente no resultado final e na satisfação dos decisores, bem como na geração de inconsistências (DA SILVA; COSTA, DE ALMEIDA, 2021). Os aspectos comportamentais podem ser observados em processos de tomada de decisão e estão diretamente relacionados à qualidade dessa decisão, como o nível de atenção, concentração, nervosismo, fadiga, impaciência, entre outros. Esses aspectos possuem grande influência sobre as respostas do decisor, atuando na forma como ele reage às perguntas e questionamentos. Neste sentido, a maneira como o problema é elaborado e levado ao decisor pode afetar diretamente no resultado do processo decisório.

O cérebro humano nasce inacabado e vai sendo moldado ao longo da nossa vida pelas nossas experiências. Ou seja, ele possui a capacidade de adaptar-se ao ambiente e as novas experiências, fazendo com que o cérebro tenha flexibilidade, crescimento e capacidade de adaptação. Assim, o que o ser humano é consiste no somatório das memórias, do que vive ao longo da vida. O corpo humano é capaz de enviar um *feedback* que influencia diretamente nas ações e escolhas, das mais simples até as mais complexas.

De acordo com Kahneman (2013) o ser humano é influenciado pelos seus entornos, de maneira que, seu inconsciente obtém informações que não são percebidas pelo consciente e influencia diretamente nas ações realizadas, processo esse chamado de *priming*. O *priming* ocorre, por exemplo, quando uma pessoa está chateada ou se depara com alguém que está chateado e essa situação impacta em 25% das escolhas que são realizadas, mesmo sem ser percebido conscientemente. Segundo Eagleman (2015) há diversos fatores conscientes e

inconscientes que atingem as decisões tomadas diariamente. Neste sentido, ao estudar os aspectos comportamentais é possível obter informações sobre fatores externos que impactam diretamente os decisores mesmo que eles não sejam percebidos conscientemente. Logo os estudos dos processos decisórios associados a neurociência permitem compreender como os fatores externos e internos podem impactar a tomada de decisão (ANDRADE; MORAIS, 2019).

O estudo de dados neurais e aspectos fisiológicos são exemplos de como tal objetivo pode ser alcançado, fazendo a integração da neurociência com a área de decisão. Kahneman (2013) aborda que o ser humano tem dois sistemas cerebrais: o sistema um e o sistema dois, onde as escolhas realizadas e as conclusões chegadas pelas pessoas é afetada pela atividade destes sistemas. O sistema um, que é o do pensamento rápido, funciona de forma automática e involuntária, é inconsciente e não pode ser desligado. Sendo assim, nesse sistema, o conhecimento é armazenado na memória, por meio de experiências vividas e acessados sem intenção e sem esforço. Já o sistema dois é o do pensamento devagar e lógico que precisa de esforço, concentração e foco, promovendo maior gasto energético, sobretudo, se for muito usado e, por isso, só é acionado quando necessário para atividades como calcular, analisar e resolver problemas. O sistema dois confirma ou corrige os julgamentos do sistema um e é mais confiável, todavia precisa de tempo, esforço e concentração.

As operações automáticas do sistema um geram padrões de ideias surpreendentemente complexos, mas apenas o sistema dois, mais lento, pode construir pensamentos em séries ordenadas de passos. Adicionalmente, existem circunstâncias em que o sistema dois assume o controle, dominando os irrefreáveis impulsos e associações do sistema um.

A neurociência é caracterizada como a ciência que estuda o sistema nervoso, composto pelo cérebro, medula espinhal e nervos periféricos (GLIMCHER; FEHR, 2014). As nossas experiências de realidade dependem dos nossos órgãos sensoriais: olhos, ouvido, pele, boca, nariz, que vão captar essas informações e levar para o cérebro para que ele possa gerar interpretações, ressaltando aqui que cada um vai interpretar da sua forma, da sua maneira, da maneira que suas experiências são para si. De acordo com Eagleman (2015), a neurociência se encarrega de explicar sobre vários procedimentos de funcionamento do nosso corpo, desde a atuação da memória, percepção da realidade através dos nossos órgãos sensoriais, entre outros temas.

A expressão neurociência é usada com uma rica diversidade, recebendo destaque em dois aspectos: o estudo do cérebro e suas funcionalidades, com uma relação com a área de

saúde; e o entendimento do sistema neural como ferramenta de apoio para outras áreas de conhecimento, como por exemplo, modelagem de preferências dos decisores para apoio ao processo de tomada de decisão (ROSELLI, 2018). Ela proporciona que sejam obtidos *insights*, utilizando os conhecimentos sobre como o cérebro humano se comporta no momento da tomada da decisão e como esse conhecimento pode ser utilizado para que as escolhas sejam feitas de modo que o decisor seja favorecido (ANDRADE; MORAIS, 2019). A utilização da neurociência em processos de decisão tem caminhado para o desenvolvimento de muitas de pesquisas dentro da tomada de decisão, incorporando vários conceitos presentes em outras áreas de estudo, mas, até então, analisados sem o viés neurológico.

Roselli (2018) ressalta que pela importância da abordagem de neurociência como ferramenta de apoio para diversas áreas do conhecimento a partir das melhorias nos diversos sistemas existentes, muitos equipamentos de mensuração de variáveis corporais, também chamados de ferramentas de apoio à neurociência, foram desenvolvidos e estão presentes no mercado, como exemplo: medidores de sinais elétricos gerados na transmissão de informação entre neurônios, medidores de movimentos oculares, sensores de resposta galvânica da pele, medidores de batimentos cardíacos, entre outros. Como mencionado anteriormente, diversas áreas de estudos utilizaram os equipamentos de neurociência como diferencial para um melhor entendimento dos processos referentes a tomada de decisão, como por exemplo: estudos sobre marketing (KHUSHABA *et al.*, 2013), risco e incerteza na tomada de decisões (POUDEL *et al.*, 2017), escolhas intertemporais (HAKIMI; HARE 2015).

A seguir são apresentados os principais equipamentos de neurociência, dando ênfase àquele que foi utilizado nesta pesquisa (eletroencefalograma).

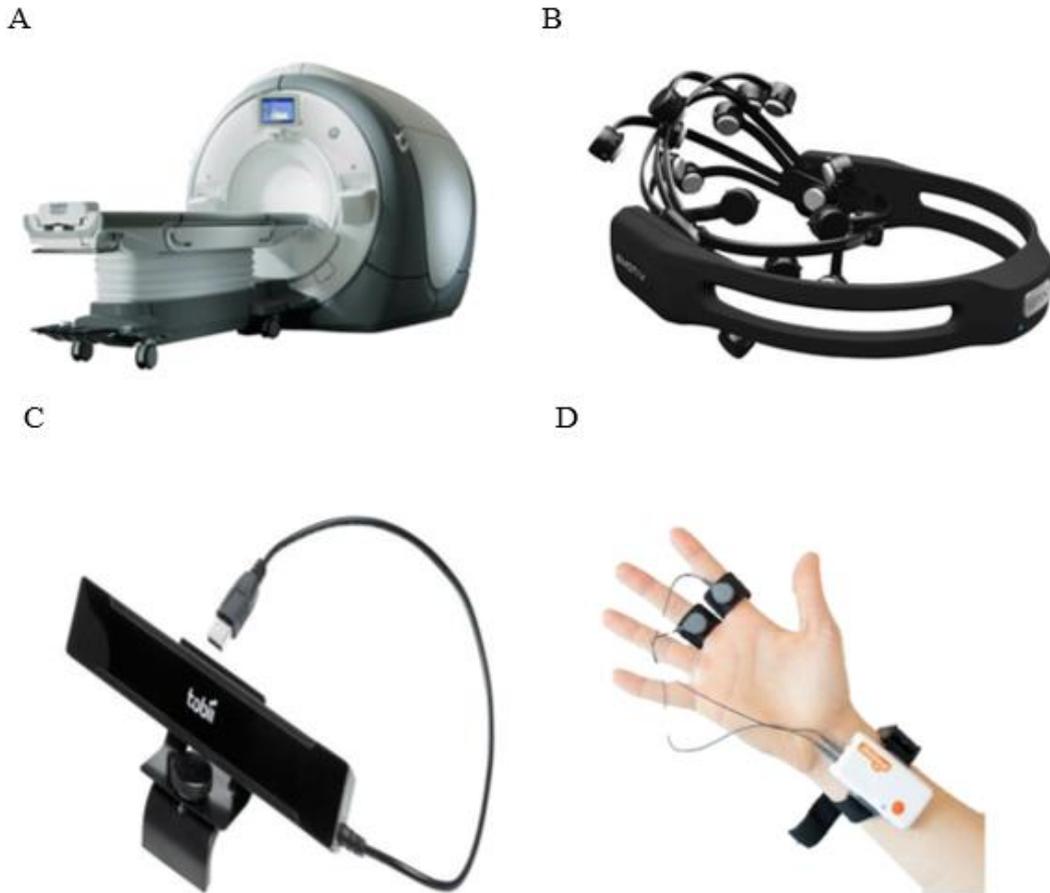
### **2.1.3 Ferramentas de neurociência**

As ferramentas de neurociência podem fornecer percepções sobre fatores internos e externos, permitindo a medição das respostas humanas quando se envolvem em várias atividades, como tomada de decisão, ou reagem a vários estímulos, como interfaces de Tecnologia da Informação (TI). Deste modo, essas ferramentas associadas com as pesquisas em Sistemas de Informação (SI) podem ser bastante úteis para identificar os aspectos comportamentais e como eles influenciam o decisor, fornecendo informações importantes para a análise de SADs. Sendo assim, além de ser uma oportunidade para realizar análises comparativas de sistemas já existentes, essas ferramentas possibilitam o desenvolvimento de novos sistemas de apoio a decisão com base nos aspectos cognitivos identificados.

Atualmente, há uma grande diversidade de ferramentas de neurociência disponíveis no mercado, variando conforme suas especificidades, tais como: perspectiva de análises; custos com aquisição e manutenção; capacidade de captura; necessidades de conhecimentos específicos para a manipulação e; a infraestrutura imprescindível para acondicionar as atividades experimentais. De forma geral, cada ferramenta apresenta vantagens e desvantagens, que devem ser levados em consideração, para cada estudo específico.

Dentre as ferramentas de neurociência utilizadas, algumas podem ser visualizadas na Figura 4, sendo elas: tubos de ressonância magnética-fMRI (Figura 4A), que permitem um detalhamento maior por meio da medição da mudança do fluxo sanguíneo cerebral, alcançando regiões mais internas do cérebro nas análises; eletroencefalograma (Figura 4B), que tem como vantagem a precisão temporal em sua captura da atividade eletromagnética cerebral; *Eye Tracking* (Figura 4C) que, por sua vez, é responsável por capturar variáveis dos movimentos oculares realizados, como por exemplo, fixações e sacadas, além de mensurar o diâmetro da pupila, os quais podem ser associados a processos mentais também; e equipamentos de *Skin Conductance Response* (SCR) (Figura 4D), que fornecem medidas indiretas dos aspectos cognitivos, assim como o *Eye Tracking*, mas a partir de dados de frequência cardíaca e suor. Os dois primeiros, fMRI e EEG, são responsáveis por conseguir dados relacionados diretamente ao cérebro e proporcionam uma correlação entre as atividades observadas nesse com o aspecto que esteja sendo considerado no estudo. Assim, usando de tais equipamentos as diversas variáveis corporais podem ser capturadas e mensuradas sendo essenciais para a formação de conclusões sobre as atividades desenvolvidas no momento da captura assim como a indicação de melhorias para tais atividades ou sistemas analisados.

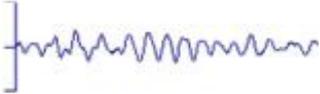
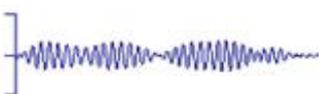
Figura 4 – Ferramentas de Neurociência. (A): Tubo de Ressonância magnética; (B): Eletroencefalograma – EEG; (C): Eye-Tracking; (D): Skin Conductance Response-SCR



Fontes: (A): 5Imimg (2022); (B): EMOTIV (2022) (C): Tobii (2022); (D): iMotions (2022).

O Eletroencefalografia (EEG), o qual foi utilizado nesta pesquisa, é um equipamento não invasivo que capta os sinais mais superficiais, não causando problemas para os usuários do equipamento. O EEG tem como objetivo registrar a atividade eletromagnética cerebral em regiões corticais com elevada precisão temporal, permitindo registrar as oscilações nas ondas cerebrais cujas frequências representam diferentes estados mentais (Müller-Putz et al. 2015). As principais bandas de frequência são: a onda delta, indo de 1 a 3 Hz, relacionada com a fase de sono profundo; teta, indo de 4 a 6 Hz, que está relacionada com o processamento de novas informações e esforço mental; a alfa, de 7 a 13 Hz, que se relaciona com tomada de decisão num ato consciente e a informações de um novo conhecimento; a beta, de 14 a 30 Hz, que indica um estado de alerta; e a gama, com a frequências de 30 a 45 Hz, que representa alta atividade cerebral, estando relacionada com estudos e resolução de problemas (SHIV et al 2005 ; URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, 2015). Cada banda cerebral é associada a determinadas atividades, como mostradas no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Bandas de frequência cerebral

Banda de frequência	Exemplo ilustrativo	Largura de banda	Característica
Delta		1-3 Hz	Associados a empatia, acesso a mente inconsciente, pensamentos mais lentos e regressivos;
Teta		4-6 Hz	Está relacionado a estados de inspiração, criatividade, análise da realidade, além de esforço mental e a atenção focada em estímulos diferentes. Aspectos pertinentes à memorização e na recuperação de informação estão associados à sua relação com a banda gama.
Alfa		7-13 Hz	Afeta a percepção visual, a memória, a aprendizagem e a coordenação mental. Em geral, a reduções da potência da banda alfa está associada ao aumento da concentração nos indivíduos, ou é um indicador da execução de atividade mental.
Beta		15-25 Hz	Corresponde à banda de frequência com maior atividade mental em estado consciente. Consiste ao pensamento rápido, a tomada de decisão, o foco, a atenção, ao estado de alerta, ao engajamento, e a alta ansiedade.
Gama		35-45 hz	Está presente em momentos de <i>insight</i> , alto nível de processamento de informações, pensamento rápido. Está também fortemente relacionado com os processos cognitivos de atenção e memória.

Fonte: Adaptado de HOUTAN *et al.* (2018); WAN ISMAIL *et al.* (2016) e KLIMESCH (1999)

## 2.2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.2.1 Estudos comportamentais em decisão

A análise comportamental permite compreender vários fatores acerca das escolhas que diversas pessoas realizam no seu cotidiano. Nesse contexto, muitas pesquisas têm sido feitas oferecendo suporte para a compreensão do processo decisório através de dados comportamentais, de maneira mais direta e imparcial, através dos dados neurais e de medidas fisiológicas, diferentemente daqueles obtidos por outras técnicas, como o uso de questionários (KHUSHABA et al., 2013; DIMOKA; PAVLOU; DAVIS, 2010).

Os aspectos comportamentais vêm influenciando os estudos decisórios. Nagvi et al (2006) usa tais aspectos em seu estudo que investigou como as emoções afetam a tomada de decisão, e que seus reflexos podem ser vistos não apenas considerando cérebro e olhos, mas, também em outras áreas do corpo que respondem a estímulos, como coração. De Almeida et al. (2021) em seu trabalho, buscou entender como as interações dos atores são registradas diretamente no cérebro, identificando os fatores afetivos e, assim, explica a capacidade ou incapacidade dos humanos de avaliar as ações e interações dos outros. Sanfey (2007), por sua vez, analisa como a interação das recompensas e os aspectos afetivos afetam as negociações a partir de jogos competitivos.

Outro exemplo, é a pesquisa de Pogoda et al. (2016) que fazendo uso de fMRI, investigou os sinais de preferência dependentes e independentes da categoria no cérebro, usando produtos alimentares diversos, como: salgadinhos e chocolate. Barbosa, de Moura e de Medeiros (2021), usando medidas fisiológicas obtidas por métodos de rastreamento ocular, avaliaram os níveis de atenção dos indivíduos, com o objetivo de investigar como o posicionamento dos elementos de *design* influencia o nível de atenção que os consumidores prestam às embalagens de alimentos de conveniência. Destaca-se ainda o estudo de Liebman et al., (2015) que mostrou como a música influencia no humor dos decisores, atingindo as escolhas dos mesmos, a partir de um experimento que envolveu ouvir uma música específica para induzir humores, positivos e negativos, dependendo da letra e do ritmo, enquanto se pedia aos participantes para informarem se uma determinada palavra tinha uma conotação negativa ou positiva na sua percepção.

### 2.2.2 Neurociência e decisão multicritério

Os métodos multicritérios estão sendo aplicados nas mais diversas áreas de estudos, sendo estes responsáveis por solucionar muitos problemas de decisão, ajudando assim as

organizações a resolver variados problemas com um maior número de recursos, pessoas e capital. A aplicação da neurociência em estudos sobre o processo de decisão teve maior impacto na década de 1990, quando se aplicou a multidisciplinaridade da psicologia conjuntamente à economia e neurociência, por meio do uso de técnicas e ferramentas da neurociência, objetivando o maior entendimento dos impactos da mente no processo de tomada de decisão (GLIMCHER e RUSTICHINI, 2004). Devido ao grande potencial de contribuição em pesquisas em decisão multicritério muitos trabalhos vem sendo desenvolvidos com o apoio da neurociência e suas ferramentas, como o de Bechara e Damasia (2005), que investigam as emoções dos decisores durante a resolução de um problema de escolha de um modelo decisório econômico que utiliza a emoção como um fator chave.

Um outro contexto que a neurociência está integrada a estudos sobre tomada de decisão é no de jogos com decisões sociais, onde Strombach et al (2015) utilizou o fMRI em um experimento no qual os participantes precisaram escolher entre alternativas consideradas generosas e outras egoístas e, como resultados, descobriu-se que as escolhas generosas afetam a junção tempo parietal (TPJ) cerebral, o que facilita em superar o egoísmo. Já no estudo de Massar et al. (2016), se valendo de uma tarefa de atenção, na qual diferentes tipos de recompensas estavam envolvidos, foi avaliado a relação entre esforço aplicado com o valor esperado do ganho com a decisão.

As ferramentas da neurociência são muito importantes para o desenvolvimento dos estudos envolvendo multicritério, elas fornecem respostas psicofisiológicas em tempo real que podem ser traduzidas em informações relevantes. Com isto, estudos que utilizem de ferramentas de neurociência podem ajudar a resolver diversos tipos de problemas, como de Goucher-Lambert *et al.*, (2017), usando o fMRI para tratar da tomada de decisão em relação a compra de produtos sustentáveis, avaliando o ganho social *versus* o ganho individual da aquisição destes itens. Por sua vez, o trabalho de Hunt *et al.*, (2014), ajudou a analisar como o processo de decisão é executado pelo cérebro humano, observando em seus resultados que um mecanismo de competição entre os atributos é ativado em todas as fases do processo de decisão.

Kim et al (2012), utilizou como ferramenta de neurociência nos seus experimentos de decisão o *Eye-Tracking*, que investigou como os movimentos oculares eram realizados quando o decisor tinha que realizar escolhas em loterias probabilísticas. Roselli e De Almeida (2020), também fizeram uso de um *Eye-Tracking* para investigar o comportamento dos decisores quando avaliam problemas de tomada de decisão, com o objetivo de melhorar os sistemas de informações (o *Decision Support System*) construídos para o método FITradeoff.

Khushaba et al. (2013), fazendo uso de EEG e *Eye-Tracking*, analisou o comportamento de decisores frente a um problema de escolha de biscoitos, cujos atributos estavam

relacionados a características como sabor, forma e cobertura. Os autores obtiveram como resultados 46 indicadores de sincronização, entre as áreas frontal e occipital, e um padrão de atividade de potência da banda delta na região frontal, da banda teta na região occipital, das bandas alfa e beta nas regiões frontal, temporal e occipital, e da banda gama na região temporal em associação às escolhas preferidas. Mais recentemente, o trabalho de Da Silva, Costa e De Almeida (2021), utilizaram o *Eye-Traking* e um EEG de 14 canais, para a coleta de dados neurais e psicofisiológicos, para realizar uma análise sobre os aspectos cognitivos durante o processo de elicitación utilizando o FITradeoff em que os sujeitos resolveram satisfatoriamente problemas de decisão desenvolvidos por eles mesmo.

Silva, Silva e Costa (2022) investigaram com o auxílio do EEG, os aspectos cognitivos no decorrer das etapas do procedimento de elicitación *Tradeoff*. Para tanto, foram feitas comparações das atividades cerebrais dos decisores nas etapas do processo de elicitación de preferências com o *Tradeoff* com aquelas registradas enquanto eles realizavam cálculos matemáticos e assistiam a clipes musicais em um outro momento.

Em suma, é possível afirmar que muitos avanços estão sendo conquistados ao se agregar a neurociência aos estudos de processos de decisão, uma vez que, entendendo os fatores que interferem no comportamento do decisor é possível entender os critérios envolvidos na tomada de decisão e a sua formação de preferências, promovendo a garantia de uma melhor aplicação do seu juízo de valor e, conseqüentemente, promovendo um processo de tomada de decisão prático e eficaz.

### **2.2.3 Síntese do estado da arte**

A utilização de abordagens integrativas incorporando a neurociência e as suas ferramentas na investigação relacionada com a tomada de decisão e métodos multicritério vem se destacando na captura de aspectos comportamentais importantes relacionados com o inconsciente humano e suas experiências individuais. Estas informações não são levadas em consideração no decorrer dos processos tradicionais de Elicitación, que não utilizam esta abordagem integrativa. Mesmo sendo consideravelmente nova, a área de neurociência em decisão, tem conseguido um grande progresso. Estas descobertas são úteis para o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão, bem como para a elucidação dos seus mecanismos. Os resultados obtidos guiam novas pesquisas permitindo o progresso contínuo da área e é nesse sentido que a presente pesquisa é realizada.

Quando observado a junção da neurociência e tomada de decisão em geral, encontra-se pesquisas em diversas áreas do conhecimento, como: *Neuromarketing*, voltada para a investigação de embalagens de produtos; *Consumer Neuroscience*, usada para analisar as escolhas dos consumidores em supermercados; bem como *NeuroIS*, utilizada para a analisar interação dos usuários de sistemas de informação em geral. Os resultados desses estudos trazem *insights* importantes, ajudando na disseminação da informação e recomendações de melhorias.

Apesar dos resultados promissores, observa-se que os estudos sobre a tomada decisão multicritério são relativamente escassos. As buscas realizadas na literatura, possibilitaram observar essa lacuna, assim esta pesquisa pretende contribuir, combinando neurociência e suas ferramentas como apoio a processos de decisão multicritério, com foco no estudo dos aspectos comportamentais, conscientes ou não dos decisores. Outro diferencial do presente estudo diz respeito ao estudo do procedimento Tradeoff, existem algumas pesquisas desenvolvidas sobre ele e este trabalho se propõe a continuar os estudos, mas com uma abordagem diferente como o uso das ferramentas de neurociência para investigação dos aspectos cognitivos no decorrer das etapas do procedimento de elicitação *Tradeoff*, em comparação com aquelas registradas enquanto eles realizam cálculos matemáticos e assistiam a clipes musicais em um outro momento, visando contribuir com a abordagem de estudos direcionados às decisões mais automáticas tomadas pelo decisor, bem como qual a influência do número de critérios no problema de decisão.

### 3 EXPERIMENTOS

Os dados deste trabalho foram obtidos a partir de dois experimentos que serão descritos neste capítulo e consistem em: I) Experimento Cálculo (a) e Música (b) e; II) Experimento *Tradeoff*, ambos conduzidos na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, nas dependências do Laboratório *NeuroScience for Information and Decision Laboratory* (NSID). Para evitar interferência externa, os participantes da pesquisa não puderam ter contato entre si, até que ambos tivessem participado dos experimentos, sendo assim, as participações eram previamente agendadas de modo que, cada participante tinha seu horário individual. Adicionalmente, destaca-se que a equipe de aplicação do experimento teve o cuidado de evitar o contato entre participantes que, por sua vez, chegavam um pouco antes para evitar atrasos na aplicação de seu experimento.

O presente estudo é parte de um projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPE (CEP/UFPE, CAAE – 69253017.0.0000.5208), intitulado “Estudos sobre comportamento de indivíduos no processo de tomada de decisão problemas de decisão multicritério e decisão em grupo e negociação com apoio de neurociências cognitiva e neuroeconomia” e todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), além de declararem ter visão normal ou fazer uso de lentes corretivas, bem como ausência de histórico de doenças psíquicas ou neurológicas no dia da realização do experimento. Toda documentação referente aos dados utilizados no presente trabalho encontra-se arquivada no Laboratório NSID/UFPE.

Para participar deste estudo, conhecimentos prévios sobre problemas multicritério e elicitação de preferências foi um fator determinante para a escolha dos componentes amostrais do trabalho. A amostra inicial foi composta por 78 alunos dos cursos de graduação em Administração e graduação, mestrado e doutorado em Engenharia de Produção da UFPE, os quais, um dia antes da data agendada, receberam um e-mail com as instruções do experimento, bem como o pedido de confirmação. Na data agendada, cada participante, individualmente, foi recepcionado por uma equipe para assinar o TCLE e tirar todas as suas possíveis dúvidas antes dos procedimentos iniciais do experimento. Após filtragem e remoção de gravações com alta quantidade de artefatos, a amostra final foi formada por 35 alunos, os quais apresentavam idade entre 18 e 40 anos, estando a maioria na faixa etária de 22 a 30 anos.

Os dados neurológicos de cada participante foram obtidos e gravados utilizando dois equipamentos de *Eye-Tracking* e EEG: Tobii x120 que detecta e armazena dados da pupila e; Emotiv Epoc+ que analisa alterações nas ondas cerebrais. A utilização dos dados oriundos dos

equipamentos supracitados permitiu identificar o nível de esforço requerido por cada participante diante da aplicação de cada experimento posteriormente aplicado e, dessa forma, mostram-se como importantes ferramentas para entender melhor processos decisórios.

O equipamento Tobii x120 detecta e armazena dados com frequência de até 120 Hz, permitindo a obtenção de movimentos oculares chamados de “sacadas” e “fixação”. As sacadas são movimentos rápidos que possibilitam o redirecionamento da linha de visão e auxiliam na obtenção de rápidas informações sobre o ambiente em que o decisor se encontra, durando apenas dezenas de milissegundos e atingindo alta velocidade no momento que o decisor muda o foco de sua visão (HESSELS, 2018; NETTO; COLAFÊMINA, 2010). O movimento de fixação, por sua vez, consiste na permanência da visão em um determinado local por um tempo um pouco maior o que, supostamente, indica o processamento de detalhes naquele campo de visão, por parte do participante, sendo assim, este movimento é conhecido como um processo dinâmico, administrado pelas mesmas estruturas cerebrais envolvidas com os movimentos oculares relacionados ao objetivo do decisor (KRAUZLIS; GOFFART; HAFED, 2017).

Figura 5 – Tobii x120



Fonte: Bargal (2022)

O Emotiv Epoc+, utilizado neste estudo, possui 14 canais com eletrodos responsáveis por capturar ondas cerebrais dos participantes com capacidade de coleta de até 128 amostras de ondas por segundo em cada um de seus canais. Este equipamento é capaz de obter informações dos lobos cerebrais pré-frontal, frontal, temporal, parietal e occipital, entretanto, para conseguir captar corretamente as ondas cerebrais é imprescindível a posição correta de cada eletrodo na cabeça do participante, o que pode ser identificado pela exibição de uma luz verde no computador acoplado ao equipamento, indicando que o eletrodo está captando os sinais cerebrais corretamente. Os dados fornecidos pelo Emotiv Epoc são registrados e

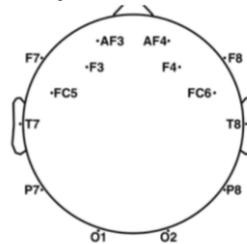
enviados via *Bluetooth* para um dispositivo USB que esteja conectado ao computador de análise.

Figura 6 – Emotiv Epoc



Fonte: Emotiv (2022)

Figura 7 – Localização dos eletrodos do Emotiv Epoc



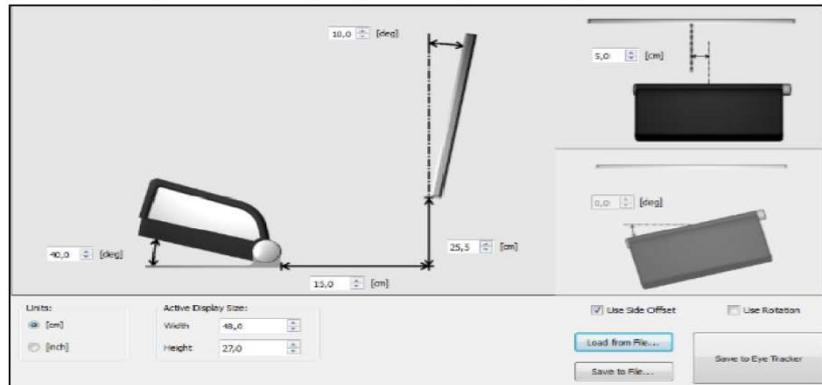
Fonte: Morán e Soriano (2018)

Os equipamentos Tobii x120 e Emotiv Epoc foram utilizados de forma integrada e simultânea pelos participantes, sendo necessário, inicialmente, o ajuste manual dos equipamentos para que os dados pudessem ser coletados corretamente, evitando vieses nos resultados ocasionados pelo posicionamento incorreto dos equipamentos. Para tanto, os equipamentos foram dispostos de forma padrão, observando a distância de 70 cm do Tobii x120 do participante, conforme instruções descritas no manual de utilização do aparelho (Product Description, Tobii X/T series Eye Trackers, 2022). O computador utilizado para comportar os equipamentos utilizados nos experimentos contém um monitor HP com resolução de 1920x1080 *pixels*, o qual esteve posicionado frontalmente aos participantes para viabilizar o acesso às informações visuais fornecidas durante a aplicação dos experimentos.

Após o correto posicionamento dos equipamentos, os participantes foram posicionados e orientados a manutenção postural durante a execução dos experimentos a fim de garantir o fornecimento eficaz dos dados obtidos pelos equipamentos utilizados. Em seguida, o Emotiv Epoc foi posicionado na cabeça do participante, seguindo o padrão de posicionamento e com cuidado para não machucar o participante e/ou danificar o aparelho. Posteriormente o

software Tobii Studio foi iniciado no computador afim de conferir se as configurações do Tobii x120 estavam corretas, conforme observado na figura 8.

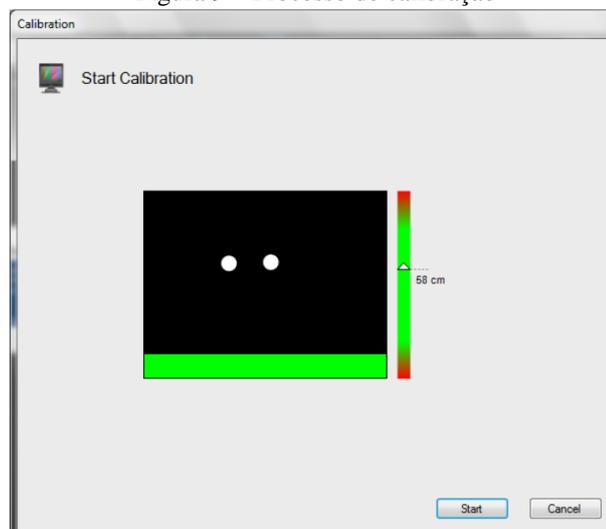
Figura 8 – Configurações do Eye Tracking Tobii x120



Fonte: A Autora (2023)

Após a confirmação das configurações do aparelho, a calibração dos olhos do participante foi realizada no intuito de captar com precisão os dados pupilométricos do participante, analisando as características geométricas dos olhos, que atuam como base para capturar e calcular as informações referentes ao ponto de vista do participante (Tobii Pro, 2022). O processo de calibração é iniciado orientando o participante a olhar para uma tela preta onde aparecerem dois pontos brancos, que representam os olhos e, para calibração, é necessário que estes pontos fiquem na margem verde da tela, conforme demonstrado na figura 9.

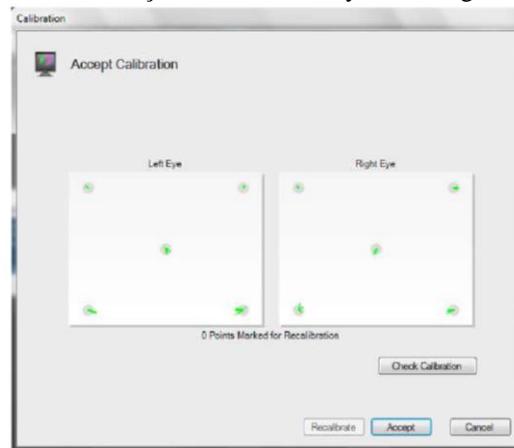
Figura 9 – Processo de calibração



Fonte: CREx, 2019

Posteriormente, solicita-se que o participante acompanhe, apenas com o olhar, os pontos de calibração específicos da tela, os quais permitem a captação de diversas imagens do olho por parte do equipamento, permitindo a análise do resultado obtido com base na calibração dos olhos, mostrando que a qualidade de calibração está relacionada com a qualidade de captação das informações oculares feita pelo equipamento em questão. Após o processo de calibração descrito, espera-se que o software apresente resultado conforme observado na figura 10 e, caso haja resposta muito diferente do padrão apresentado na figura, o processo deve ser repetido até que a calibração seja corretamente efetuada.

Figura 10 – Calibração dos olhos no Eye Tracking Tobii x120



Fonte: CREx (2022)

Após o processo de calibração, o experimento pode ser então iniciado, o qual é antecedido pelo repasse das últimas informações ao participante, incluindo a orientação da fixação do olhar na cruz de estabilização que aparece na tela do monitor e permanece durante o período de cinco segundos, atuando no intuito de reduzir o quantitativo de movimentos involuntários que, por vezes, são realizados pelos olhos sem que haja percepção do indivíduo (THALER *et al.*, 2013).

### 3.1 EXPERIMENTO DE CÁLCULO E MÚSICA

#### 3.1.1 Experimento de Cálculo

Assim que a cruz de fixação desaparece, uma equação aritmética fica disponível na tela do monitor para o participante durante 15 segundos e, em seguida, surgem na tela quatro opções de resposta para a equação, onde a resposta correta deve ser selecionada pelo participante do experimento. As alternativas ficam disponíveis pelo tempo que o participante

precisar, passando para a próxima equação assim que uma resposta for selecionada. Ao todo foram exibidas quatro equações com um nível de dificuldade crescente ao decorrer do experimento. Adicionalmente, ressalta-se que a maioria das respostas fornecidas não apresentavam igualdade e, desta forma, elevavam o esforço cognitivo do decisor na escolha da alternativa correta. As equações utilizadas no experimento estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Cálculos aritméticos e opções de resposta exibidas no experimento

$7 \times 6 = ?$	<ul style="list-style-type: none"> <li>45</li> <li>=48</li> <li>&lt;43</li> <li>&gt;42</li> <li>&lt;40</li> </ul>
$42 + 94 - 2 = ?$	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 130</li> <li>&gt;134</li> <li>&lt;131</li> <li>&gt;131</li> <li>=129</li> </ul>
$(7 \times 4) + (24/2) + 19 = ?$	<ul style="list-style-type: none"> <li>=58</li> <li>&gt;61</li> <li>&lt;60</li> <li>=62</li> <li>&gt;60</li> </ul>
$30 - 15 + (3/2) \times (5 - 1) = ?$	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;18</li> <li>=20</li> <li>&gt;22</li> <li>&lt;22</li> <li>=19</li> </ul>

Fonte: A Autora (2023)

### 3.1.2 Experimento de música

Ao finalizar as quatro equações, os participantes são direcionados para etapa de música, no qual quatro clipes de diferentes estilos foram escolhidas para o experimento: Show das Poderosas da cantora de *funk* e *pop* - Anitta; Tempo Perdido de *rock* - Legião Urbana; Velha Infância da banda de Música Popular Brasileira (MPB) - Tribalistas e; Como é grande o meu amor por você da Jovem-guarda - Roberto Carlos. Os títulos das músicas e artistas utilizadas no experimento estão apresentadas na Figura 12. A seleção musical foi realizada considerando estilos musicais comuns no Brasil, levando em consideração a faixa etária dos participantes do experimento (18 e 40 anos), bem como a familiaridade que poderia existir com as canções apresentadas.

O experimento é iniciado com a apresentação do título da música, seguindo-se do seu respectivo vídeo clipe, exibindo um trecho de cerca de um minuto de cada uma das quatro músicas, sucessivamente. Por fim, após o estímulo visual e auditivo, um questionário é exibido a fim de identificar a preferência do decisor dentre a seleção de músicas que lhe foi apresentada no experimento, ou ainda, a possibilidade de uma quinta escolha referente a alternativa “não tenho preferência”.

Figura 12 – Títulos das músicas e artistas apresentados neste experimento

1	2
SHOW DAS PODEROSAS – ANITTA	TEMPO PERDIDO – LEGIÃO URBANA
3	4
VELHA INFÂNCIA – TRIBALISTAS	COMO É GRANDE O MEU AMOR POR VOCÊ – ROBERTO CARLOS

Fonte: A Autora (2023)

### 3.2 ELICITAÇÃO COM O SAD DO *TRADEOFF*

O procedimento de elicitação por *Tradeoff* proposto por Keeney e Raiffa (1976), foi desenvolvido considerando a Teoria do Valor de Multiatributo – MAVT considerando uma escala de intervalo a ser utilizada onde a maior consequência recebe  $v_i(x_{ij}) = 1$  e a menor consequência recebe  $v_i(x_{ij}) = 0$  para cada atributo ou critério.

Os alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção que realizaram o experimento, tinham elaborado um problema de decisão multicritério em sala de aula, o qual possuía diferentes alternativas e critérios, ao passo que, os alunos de graduação em administração, que não tiveram acesso a esta atividade, tiveram um problema padrão de seleção de um *smartphone*. Cada problema foi importado para o SAD antes do participante chegar à sala do experimento, sendo o modelo padrão de importação descrito na tabela abaixo.

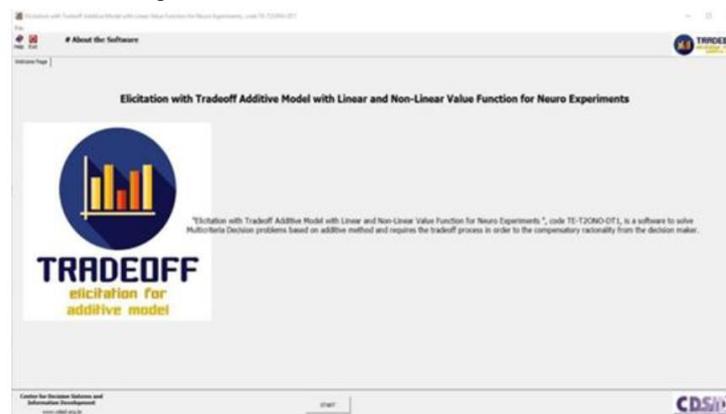
Tabela 1 – Planilha padrão para importação para o software

Criteria	Preço	Camera	Memória (gb)	Bateria (h)
PreferenceDirection	Decrescent	Crescent	Crescent	Crescent
Type	Natural	Constructed	Natural	Constructed
Scale	\$ (MonetaryValue)	Verbal Scale	\$ (NumericValue)	Verbal Scale
Iphone X	5.139,00	5	256	12
Samsung S9	2.849,00	4	128	14
Moto g7	1.689,00	2	64	14
Galaxy J7	950,00	3	16	10
Iphone 7	2.749,00	1	32	10

Fonte: A Autora (2023)

Antes de iniciar o experimento, o *software* é aberto na frente do participante, onde é selecionado qual indivíduo está realizando o experimento e, em seguida o participante inicia seu processo de elicitación englobando todas as quatro fases do SAD do *Tradeoff*: avaliação da função valor intracritério; ordenação das constantes de escala; exploração do espaço consequência e; obtenção das constantes de escala. Além das quatro etapas padrão, caso haja inconsistência nos resultados, uma nova etapa é adicionada para que o decisor possa optar por: refazer o processo; tornar dados inconsistentes em consistentes e; obter resultado mesmo com inconsistências.

Figura 13 – Tela inicial do software Tradeoff

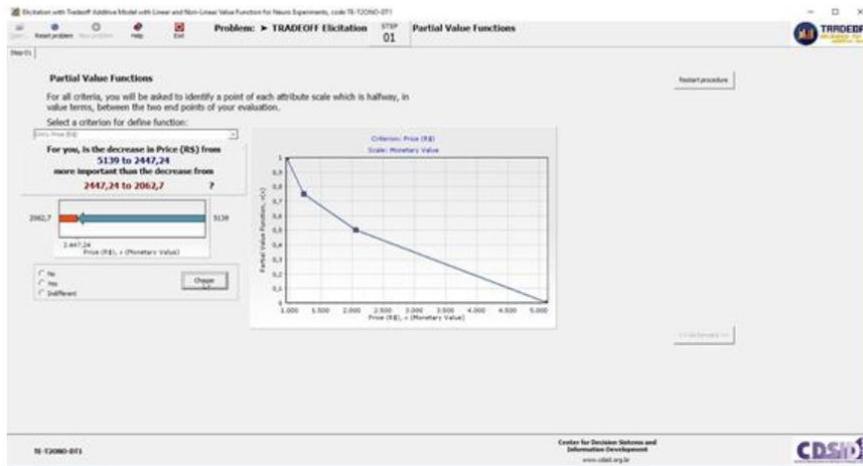


Fonte: A Autora (2023)

A avaliação da função intracritério, primeira etapa do SAD do *Tradeoff*, é feita pelo método da bissecção, um dos tipos de métodos para elicitación de função valor marginal (BELTON; STEWART, 2002). Nesta etapa, inicialmente, o decisor seleciona o primeiro critério e, em seguida analisa se a alteração de um valor de A para B é mais importante do que se houver alteração de C para D. Para isto, o decisor pode optar pelas respostas “sim”, “não” e “indiferente” e, caso a opção selecionada seja “indiferente” o decisor passa para o próximo critério. Em contrapartida, se a opção for “sim” ou “não”, outro valor aparecerá para a

questão. O processo é repetido até que o decisor encontre os pontos de indiferença em todos os critérios, como demonstrado na Figura 14.

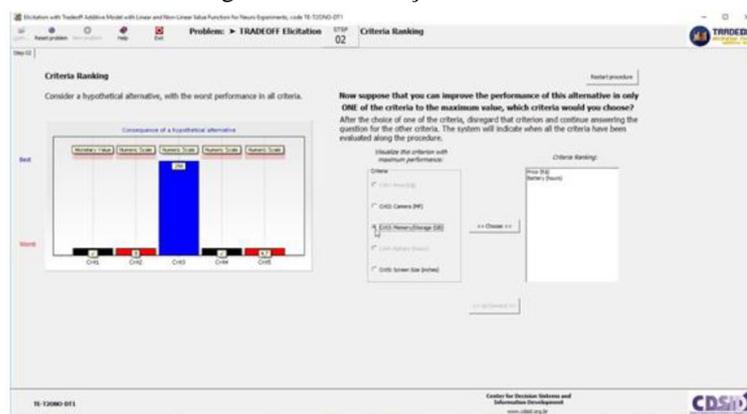
Figura 14 – Avaliação da função parcial



Fonte: A Autora (2023)

Na etapa de ordenação, o decisor precisa colocar em ordem de prioridade os critérios que considera como mais importantes com base no espaço de consequências, de modo que, o primeiro critério selecionado é aquele cuja constante de escala deverá ter maior valor, e assim sucessivamente, até que o último critério esteja ordenado, conforme representado na figura abaixo.

Figura 15 – Ordenação de critérios

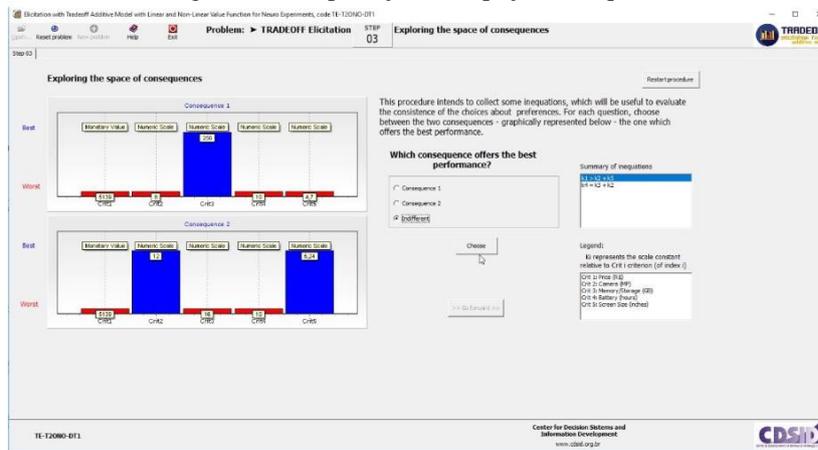


Fonte: A Autora (2023)

Para a exploração do espaço consequência, são apresentadas ao decisor duas consequências hipotéticas, comparando um determinado critério de uma consequência com outros dois de outra consequência, dentre as quais, o decisor deve optar por uma das duas ou

pela indiferença entre as opções que lhe foram apresentadas. A representação desta etapa está descrita na figura 16.

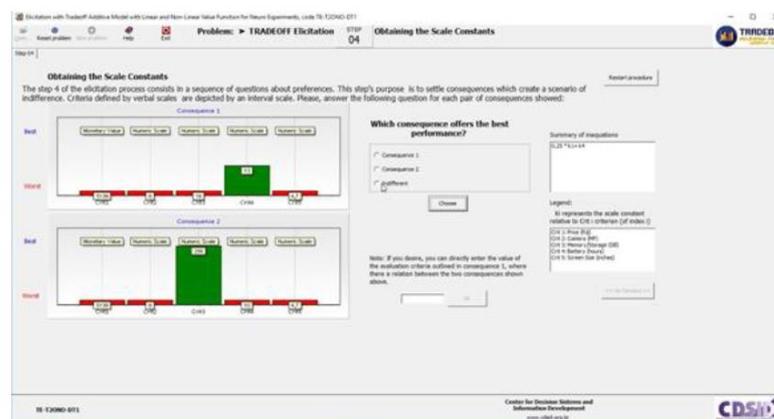
Figura 16 – Exploração do espaço consequência



Fonte: A Autora (2023)

O *Tradeoff* é um procedimento desenvolvido com o objetivo de elicitar constantes de escala a partir da definição de um valor exato que expressa igualdade entre dois critérios (KENNEY; RAIFFA, 1976). A última etapa do procedimento é a obtenção dessas constantes de escala, na qual é realizada uma comparação entre um critério de uma consequência hipotética, com um critério de uma segunda consequência hipotética, devendo o decisor optar por aquela que seja a melhor opção. Esta etapa é concluída quando o decisor considera como indiferente duas consequências referentes a diferentes critérios, conforme observado na figura abaixo.

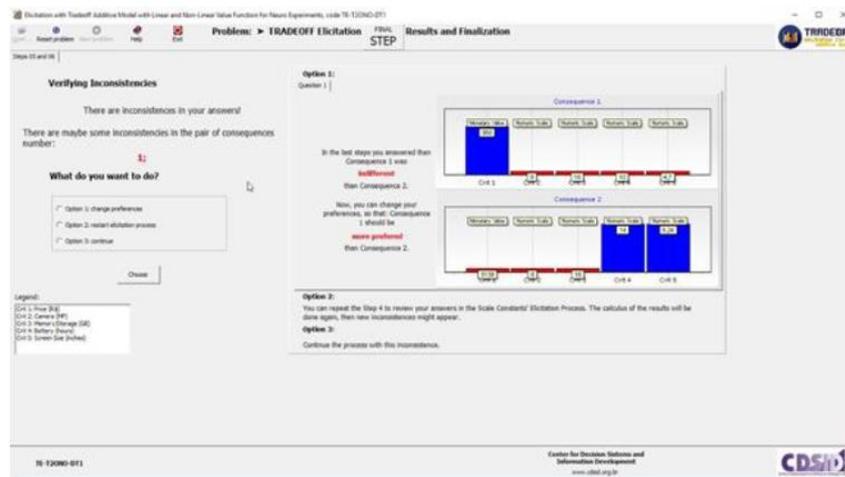
Figura 17 – Determinação de constantes de escala



Fonte: A Autora (2023)

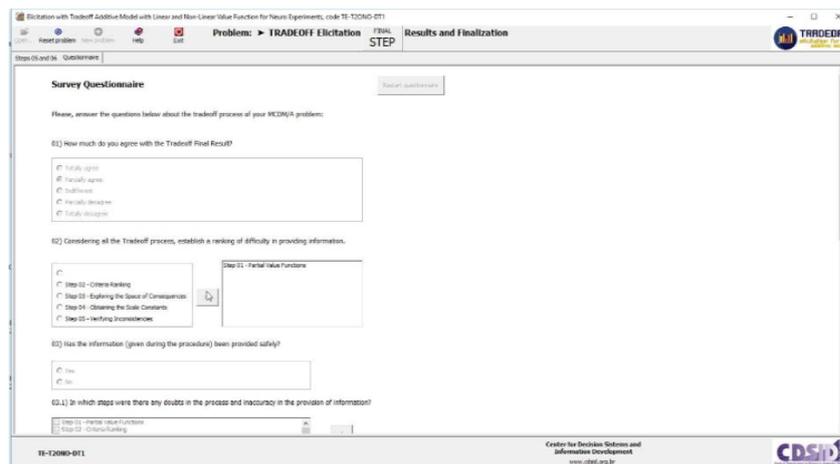
Para o caso de haver inconsistências no procedimento realizado, em uma etapa adicional, chamada de avaliação de inconsistências, o decisor pode optar por refazer o processo, por corrigir as inconsistências automaticamente, ou por gerar o resultado mesmo diante de inconsistências (Figura 18). Por fim, uma pesquisa de satisfação é realizada com o participante, que pode indicar qual a etapa de maior dificuldade, bem como, possíveis sugestões para melhorar o SAD.

Figura 18 – Avaliação de inconsistências



Fonte: A Autora (2023)

Figura 19 – Questionário de satisfação



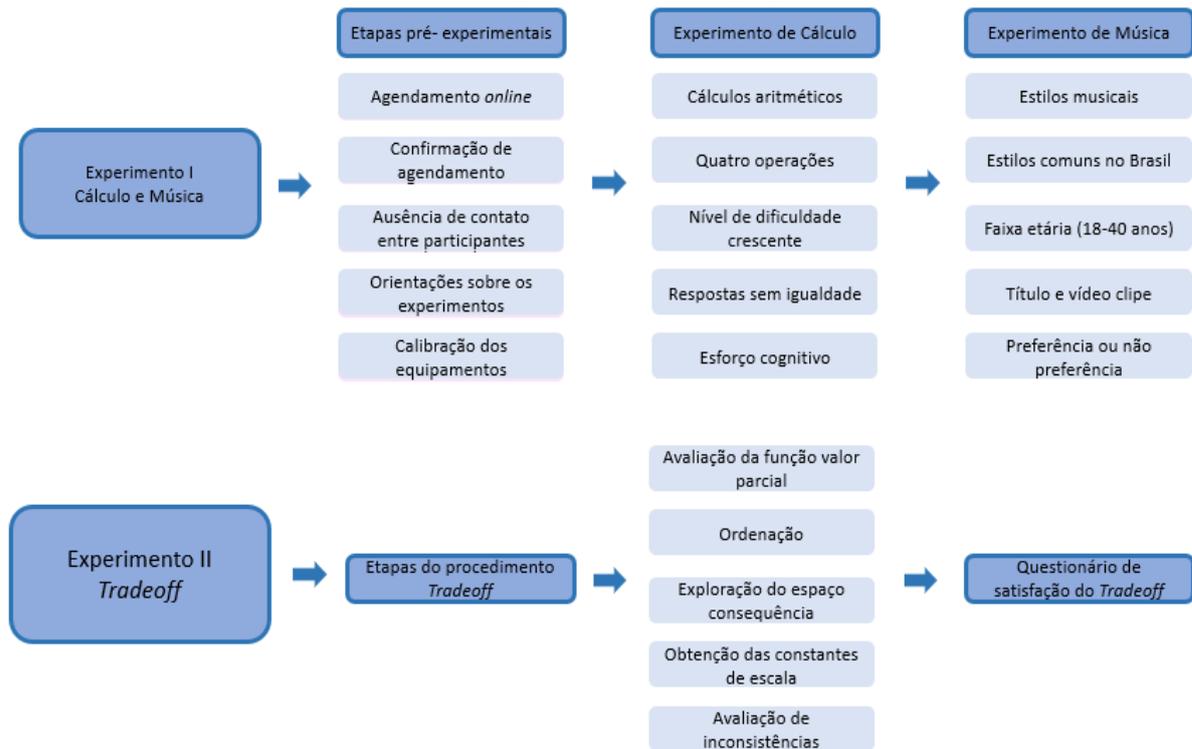
Fonte: A Autora (2023)

### 3.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este estudo foi desenvolvido para identificar a relação entre processos de decisão e atividade cerebral a partir de três diferentes situações: a) ao realizar cálculos aritméticos; b) ao

assistir clipes musicais de estilos diferentes; c) ao utilizar o SAD *Tradeoff* para eliciação de preferências. Um resumo da metodologia experimental utilizada para a análise das situações está disposto na Figura 20. Todos os participantes do estudo realizaram os três experimentos, permitindo identificar preferências e esforço cognitivo individuais de cada indivíduo, assim como as possíveis sugestões para melhoria no SAD. Os resultados obtidos neste trabalho estão dispostos no capítulo seguinte.

Figura 20 – Metodologia experimental empregada no estudo



Fonte: A Autora (2023)

## 4 RESULTADOS E *INSIGHTS*

O capítulo 4 é responsável por apresentar e discutir os resultados obtidos por meio dos experimentos do capítulo anterior, com eles foram feitas análises estatísticas que possibilitaram adquirir discursões e insights relevantes acerca do tema abordado.

### 4.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises dos dados foram feitas aplicando o teste de Wilcoxon ( $\alpha = 0,01$ ), um método não-paramétrico para comparação de amostras pareadas que não considera apenas a classificação da diferença entre pares, ou seja, não considerara apenas o sinal das diferenças entre os pares, mas também o valor das diferenças. Para realização do teste de Wilcoxon, foram consideradas as matrizes de potência da banda teta e alfa, registrada nos oito canais frontais do EEG (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5 e FC6), comparando as amostras de cálculo e música com quatro etapas do SAD do *Tradeoff*, bisseção, ordenação, exploração e elicitación das constantes de escala, para cada um dos canais frontais, como mostrados na Figura 21. Foi escolhido essas quatro etapas para analisar o esforço cognitivo dos decisores na tarefa, visto que elas apresentam paradigmas diferentes para a modelagem de preferências.

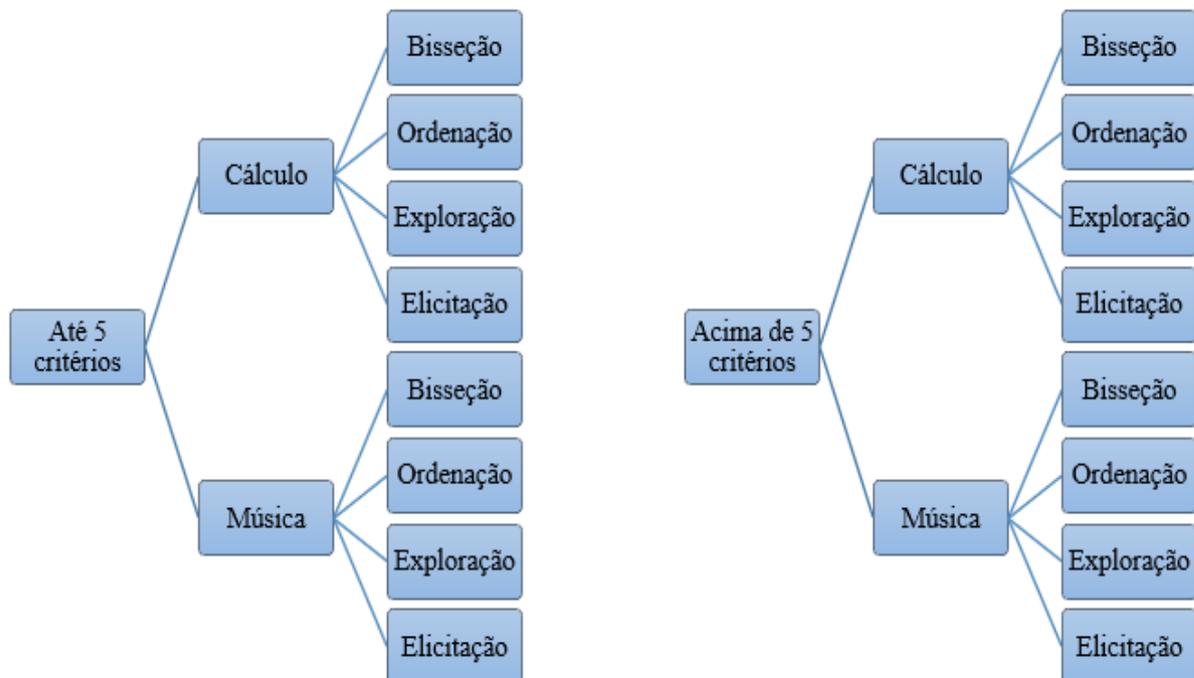
A etapa de avaliação intracritério, para o SAD do *Tradeoff*, foi realizada por meio do método da bisseção, um dos tipos de métodos para elicitación de função valor marginal, ele busca encontrar o ponto exato de indiferença para cada. Foi utilizado este método no experimento desenvolvido para esta pesquisa devido à estrutura do procedimento *Tradeoff*. Em seguida, é realizada a etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios, em que os participantes precisam estabelecer uma ordem de preferência entre os critérios considerando o espaço de consequências do problema, a partir de avaliações globais. O decisor é assim apresentado a uma consequência hipotética com baixas performances em todos os critérios e precisa escolher apenas um para levar ao máximo desempenho. O processo é repetido até que todos os critérios sejam escolhidos, no fim é definido uma ordem das constantes de escala do problema.

Após a ordenação, são executadas as etapas de exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala. Na etapa de exploração do espaço de consequências busca-se explorar o espaço de decisão e a obter com maior precisão a faixa de sensibilidade para as suas relações de preferência. Nessa etapa situações hipotéticas são abordadas de modo que o decisor escolha a que mais lhe for atrativa, uma inequação é obtida quando o decisor declara sua indiferença ou preferência, este processo continua até que se tenha identificado

uma inequação para cada um dos critérios presentes no problema de decisão, diante das respectivas avaliações do decisor. Já na etapa de elicitaco, são conferidas comparaes par a par entre consequências hipotéticas nas quais todos os critérios têm baixos rendimentos exceto dois, um para cada consequência, além disso, para a primeira consequência, o critério em destaque tem performance intermediária, sendo um mais bem posicionado no ranking definido previamente pelo decisor, enquanto o critério da segunda consequência tem valor no máximo. Nesta etapa uma série de perguntas são feitas, variando os critérios e as performances do critério em destaque na primeira consequência, até que relaes de indiferença sejam obtidas entre as consequências apresentadas e, com o objetivo de definir o ponto de indiferença para cada critério e, conseqüentemente a determinao das suas constantes de escala para soluço do problema de decisão.

A análise foi dividida em dois grupos: até cinco critérios e acima de cinco critérios, pois, espera-se uma maior complexidade quando o número de critérios  maior. Desse modo, objetiva-se investigar se de fato os decisores se esforçam mais com mais critérios ou se há comportamentos não esperados. Para as comparaes, foram considerados todos os canais frontais, buscando identificar se as etapas de bisseo, ordenao, elicitaco das constantes de escala e explorao se aproximavam das atividades de música (respostas mais automáticas) ou de cálculo (esforço cognitivo), em termos de atividades cerebrais, conforme Figura 21.

Figura 21 – Blocos comparativos das análises



#### 4.1.1 Análise banda teta

Em função do tamanho da amostra e o objetivo da pesquisa, a análise estatística de dados foi feita por meio do teste de Wilcoxon, que tem como objetivo comparar o desempenho de cada sujeito (ou par de sujeitos) e analisar se existe uma diferença significativa entre os resultados nas duas situações, no qual foram calculadas com auxílio do *software* estatístico R.

Nessa etapa, analisou-se dados da banda teta. Para tanto, foram considerados os dados de potência da banda teta registrada nos oito canais frontais do EEG, foram comparadas as etapas do *tradeoff* com os dados de cálculo e música para cada um dos 8 canais frontais na banda teta. A banda teta é caracterizada por atividade de baixa frequência (4-8 Hz) e é relacionada com esforço cognitivo em tarefas de demanda mental. Fischer *et al.* (2018) investigou que embora a atividade da banda teta aumenta quando o sujeito é envolvido a atividades complexas, se estiverem cansado, desmotivados, isso indica um baixo esforço cognitivo e um baixo engajamento. Muller-Putz et al. (2015) relaciona, a linha média frontal da banda teta, ao esforço mental, que sugere atenção focada em um estímulo disponível.

Para a análise estatística, os dados extraídos do MATLAB passam pela transformação logarítmica na base 10 sobre os valores de potência ( $\mu V^2$ ), e filtrados na planilha as bandas de potência de interesse e os canais que serão estudados.

##### 4.1.1.1 Problemas com até cinco critérios

Com as amostras divididas em problemas com até cinco critérios, organizaram-se os dados de cálculo e música em comparação com cada uma das quatro etapas do *tradeoff*, conforme exemplificado no Tabela 2 para o canal F3.

Tabela 2 – Demonstração da comparação das amostras BANDA TETA – CANAL F3 para o grupo de problemas com até cinco critérios

Usuário	Cálculo	Bisseção
<b>1</b>	0,317	0,225
<b>2</b>	0,503	1,706
<b>3</b>	1,258	0,552
...	...	...
<b>26</b>	0,683	1,018

Usuário	Música	Bisseção
<b>1</b>	0,625	0,225
<b>2</b>	0,091	1,706
<b>3</b>	0,965	0,552
...	...	...
<b>26</b>	0,225	1,018

Usuário	Cálculo	Ordenação
<b>1</b>	0,317	0,202
<b>2</b>	0,503	2,844
<b>3</b>	1,258	0,093
...	...	...
<b>26</b>	0,683	1,159

Usuário	Música	Ordenação
<b>1</b>	0,625	0,202
<b>2</b>	0,091	2,844
<b>3</b>	0,965	0,093
...	...	...
<b>26</b>	0,225	1,159

Usuário	Cálculo	Exploração
<b>1</b>	0,317	0,521
<b>2</b>	0,503	2,691
<b>3</b>	1,258	1,467
...	...	...
<b>26</b>	0,683	1,121

Usuário	Música	Exploração
<b>1</b>	0,625	0,521
<b>2</b>	0,091	2,691
<b>3</b>	0,965	1,467
...	...	...
<b>26</b>	0,225	1,121

Usuário	Cálculo	Elicitação
<b>1</b>	0,317	0,197
<b>2</b>	0,503	2,267
<b>3</b>	1,258	0,211
...	...	...
<b>26</b>	0,683	1,218

Usuário	Música	Elicitação
<b>1</b>	0,625	0,197
<b>2</b>	0,091	2,267
<b>3</b>	0,965	0,211
...	...	...
<b>26</b>	0,225	1,218

Fonte: A Autora (2023)

Posteriormente, é feita a aplicação do teste para cada um dos canais frontais. A hipótese nula do problema é que as amostras são iguais, ou seja, caso o p-valor entre a comparação das duas amostras for maior que 1%, não se rejeita a hipótese nula. O resultado do p-valor é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA TETA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		9933	5,15E-01	0,1165	0,9801	0,5317	0,9205	6,66E-01	0,6171
Música		0,1814	8,81E-01	0,3802	1	0,227	7,08E-01	4,68E-01	1,29E-01

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,002182	2,27E-02	0,002411	0,001298	0,000664	0,000218	3,19E-02	0,000218
Música		0,01513	9,15E-03	0,01197	0,002842	0,005613	1,64E-03	0,000125	0,000281

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,008635	0,02379	0,002411	0,09933	0,03572	0,002411	0,004689	0,004626
Música		0,02197	0,004279	0,007291	0,05585	0,09933	0,001165	0,003551	0,000218

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,07515	0,1358	0,01528	0,8809	0,09933	0,0272	0,07092	0,06688
Música		0,237	0,03122	0,04647	0,8809	0,2079	0,02043	0,05935	0,001972

Fonte: A Autora (2023)

Para facilitar a interpretação, o resultado do p-valor é ilustrado no Tabela 4, no qual 1 representa as amostras cujo o p-valor é maior que 0,01 (1%), não se rejeitando a hipótese nula, ou seja, as amostras são iguais, e 0 representa as amostras que o p valor foi inferior ou igual a 0,01, ou seja, as amostras são diferentes.

Tabela 4 – Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA TETA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0	1	0	0	0	0	1	0
Música		1	0	1	0	0	0	0	0

		Exploração						
--	--	------------	--	--	--	--	--	--

	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	0	1	0	1	1	0	0	0
Música	1	0	0	1	1	0	0	0

	Elicitação							
	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	1	1	1	1	1	1	1	1
Música	1	1	1	1	1	1	1	0

Fonte: A Autora (2023)

A Tabela 4 mostra que na etapa da bisseção os resultados não indicam nenhuma diferença estatística, se mantendo iguais em todos os canais. Na etapa de ordenação os resultados indicaram diferenças para ambas as atividades de referência, tanto cálculo quanto música, foram observadas para os canais AF3, AF4, F3 e FC5. Na etapa de exploração os resultados indicam diferenças para nos canais AF3 e AF4. Já na etapa de elicitación apenas o canal FC6 difere.

#### 4.1.1.2 Problemas com mais do que cinco critérios

Nessa etapa, foram comparadas as etapas do *tradeoff* com cálculo e música, para o grupo da amostra com problemas com mais de cinco critérios. Assim como na amostra de problemas com até cinco critérios, para a análise estatística do teste de Wilcoxon, os dados de cálculo e música foram comparados com uma das quatro etapas do *tradeoff*, como podem ser vistas no Tabela 5 para o canal F3.

Tabela 5 – Demonstração da comparação das amostras BANDA TETA – CANAL F3 para o grupo de problemas com mais de 5 critérios.

Usuário	Cálculo	Bisseção
1	1,165	1,340
2	0,615	0,100
3	-0,062	0,380
...	...	...
9	-0,520	0,559

Usuário	Música	Bisseção
1	0,948	1,340
2	0,476	0,100
3	-0,307	0,380
...	...	...
9	0,494	0,559

Usuário	Cálculo	Ordenação
1	1,165	0,916
2	0,615	0,509
3	-0,062	1,427
...	...	...

Usuário	Música	Ordenação
1	0,948	0,916
2	0,476	0,509
3	-0,307	1,427
...	...	...

<b>9</b>	-0,520	0,603
----------	--------	-------

<b>9</b>	0,494	0,603
----------	-------	-------

Usuário	Cálculo	Exploração
<b>1</b>	1,165	1,393
<b>2</b>	0,615	0,757
<b>3</b>	-0,062	1,530
...	...	...
<b>9</b>	-0,520	0,376

Usuário	Música	Exploração
<b>1</b>	0,948	1,393
<b>2</b>	0,476	0,757
<b>3</b>	-0,307	1,530
...	...	...
<b>9</b>	0,494	0,376

Usuário	Cálculo	Elicitação
<b>1</b>	1,165	2,440
<b>2</b>	0,615	1,640
<b>3</b>	-0,062	0,910
...	...	...
<b>9</b>	-0,520	0,821

Usuário	Música	Elicitação
<b>1</b>	0,948	2,440
<b>2</b>	0,476	1,640
<b>3</b>	-0,307	0,910
...	...	...
<b>9</b>	0,494	0,821

Fonte: A Autora (2023)

O p-valor do teste de Wilcoxon para todas as comparações nos canais frontais é apresentado no Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de acima de 5 critérios – BANDA TETA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,6523	0,5703	0,3594	0,4258	0,01172	0,4961	0,3594	0,4258
Música		0,5703	0,9102	0,5703	0,8203	0,3008	0,4258	0,1289	0,7344

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,03906	0,003906	0,2031	0,07422	0,003906	0,25	0,05469	0,007812
Música		0,07422	0,03906	0,2031	0,05469	0,01172	0,25	0,007812	0,1289

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,01953	0,003906	0,01172	0,007812	0,003906	0,01953	0,01953	0,003906
Música		0,05469	0,007812	0,01172	0,03906	0,003906	0,07422	0,003906	0,01953

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,02734	0,003906	0,007812	0,09766	0,003906	0,07422	0,07422	0,01172
Música		0,09766	0,01953	0,007812	0,05469	0,007812	0,1289	0,05469	0,03906

Fonte: A Autora (2023)

Os valores foram mais uma vez convertidos em 0 ou 1, de modo que, 0 representa as amostras que o p-valor é menor ou igual a 0,01, e 1 representa aquelas em que o p-valor é maior que 0,01 (ver Tabela 7).

Tabela 7 – Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA TETA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	0	1	1	0	1	1	0
Música		1	1	1	1	1	1	0	1

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	0	1	0	0	1	1	0
Música		1	0	1	1	0	1	0	1

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	0	0	1	0	1	1	1
Música		1	1	0	1	0	1	1	1

Fonte: A Autora (2023)

Observa-se na Tabela 6 que na etapa da bisseção os resultados se mantem iguais em todos os canais, não indicando assim nenhuma diferença estatística. Na etapa de ordenação os resultados indicaram diferenças para os canais AF4, F7, FC5 e FC6. Na etapa de exploração os canais que apresentaram diferenças foram F4, FC5 e FC6. Por fim, na etapa de elicitación apenas o canal AF4 difere.

#### 4.1.2 Análise banda alfa

Assim como feito com a banda teta, a análise estatística de dados considerou o teste de Wilcoxon, realizado por meio do *software* estatístico R. Nesta etapa, também foram

analisados os oito canais frontais do EEG (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5 e FC6), só que utilizando os dados de potência registrados da banda alfa.

A banda alfa (7-13 Hz) pode indicar diferentes formas de processamento de informações nas quais servem a diferentes processos funcionais. Ela está relacionada à tomada de decisão num ato consciente do decisor, vinculada a informações de um novo conhecimento, e seus valores negativos da assimetria frontal associados a um baixo nível de motivação e engajamento do decisor, mostrando como ele se sente (MULLHER-PUTZ et al., 2015). Por sua vez, a diferença da frequência alfa no córtex frontal está relacionada às percepções positivas contra as negativas do indivíduo e da motivação em relação aos estímulos (MORIDIS, 2018).

Para a análise estatística, os dados extraídos do MATLAB passam pela transformação logarítmica na base 10 sobre os valores de potência ( $\mu V^2$ ), e filtrados na planilha as bandas de potência de interesse e os canais que serão estudados.

#### 4.1.2.1 Problemas com até cinco critérios

Com as amostras dividida em problemas com até cinco critérios, o teste de Wilcoxon foi usado para realizar a análise estatística, comparando os dados de cálculo e música para cada uma das quatro etapas do *tradeoff*, conforme exemplificado no Tabela 8 para o canal F3.

Tabela 8 – Demonstração da comparação das amostras BANDA ALFA – CANAL F3 para o grupo de problemas com até cinco critérios.

Usuário	Cálculo	Bisseção
<b>1</b>	0,251	-0,146
<b>2</b>	0,375	1,459
<b>3</b>	1,110	0,437
...	...	...
<b>26</b>	0,607	0,694

Usuário	Música	Bisseção
<b>1</b>	0,525	-0,146
<b>2</b>	-0,137	1,459
<b>3</b>	0,871	0,437
...	...	...
<b>26</b>	0,095	0,694

Usuário	Cálculo	Ordenação
<b>1</b>	0,251	0,178
<b>2</b>	0,375	2,764
<b>3</b>	1,110	-0,194
...	...	...
<b>26</b>	0,607	0,531

Usuário	Música	Ordenação
<b>1</b>	0,525	0,178
<b>2</b>	-0,137	2,764
<b>3</b>	0,871	-0,194
...	...	...
<b>26</b>	0,095	0,531

Usuário	Cálculo	Exploração
---------	---------	------------

Usuário	Música	Exploração
---------	--------	------------

<b>1</b>	0,251	0,512
<b>2</b>	0,375	2,463
<b>3</b>	1,110	1,486
...	...	...
<b>26</b>	0,607	0,611

<b>1</b>	0,525	0,512
<b>2</b>	-0,137	2,463
<b>3</b>	0,871	1,486
...	...	...
<b>26</b>	0,095	0,611

<b>Usuário</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Elicitação</b>
<b>1</b>	0,251	-0,0182484
<b>2</b>	0,375	2,16949368
<b>3</b>	1,110	0,00252906
...	...	...
<b>26</b>	0,607	0,72141169

<b>Usuário</b>	<b>Música</b>	<b>Elicitação</b>
<b>1</b>	0,525	-0,0182484
<b>2</b>	-0,137	2,16949368
<b>3</b>	0,871	0,00252906
...	...	...
<b>26</b>	0,095	0,72141169

Fonte: A Autora (2023)

Assim como na banda teta, por conseguinte, foi feita aplicado o teste e os resultados são apresentados na Tabela 9 para todos os canais frontais. O p-valor das comparações foram transformados em 0 ou 1 em função da rejeição ou não da hipótese nula do problema de que as amostras são iguais a partir do nível de significância de 1%, o que pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo de até 5 critérios – BANDA ALFA

Bisseção								
	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	0,5483	3,03E-01	0,5317	0,3533	0,06688	0,6893	9,21E-01	0,1574
Música	0,9007	5,15E-01	0,8222	0,2914	0,01945	5,82E-01	6,00E-01	9,40E-01

Ordenação								
	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	0,04347	1,66E-04	0,01105	0,01197	0,002661	0,001972	1,90E-04	0,02197
Música	1,65E-01	1,45E-04	0,04935	0,1048	0,0272	1,25E-04	0,000591	0,000412

Exploração								
	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	0,0272	0,3032	0,001972	0,2914	0,1105	0,007938	0,008635	0,04633
Música	0,09933	0,05935	0,03572	0,6528	0,4227	0,005613	0,02197	0,007938

Elicitação								
	AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo	0,5483	0,4678	0,09933	0,4227	0,3032	0,07957	0,5483	0,6893
Música	0,8613	0,5483	0,7078	0,08903	0,6171	0,1499	0,6528	0,1987

Fonte: A Autora (2023)

Tabela 10 – Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo até 5 critérios – BANDA ALFA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	0	1	1	0	0	0	1
Música		1	0	1	1	1	0	0	0

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	0	1	1	0	0	1
Música		1	1	1	1	1	0	1	1

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: A Autora (2023)

A Tabela 10 mostra que na etapa da bisseção e elicitación os resultados não indicam nenhuma diferença estatística, se mantendo iguais em todos os canais. Já na etapa de ordenação diferenças foram observadas para os canais F3 e FC6. Na etapa de exploração os resultados indicam diferenças para nos canais F3 e FC5.

#### 4.1.2.2 Problemas com mais do que cinco critérios

Nessa etapa, foram comparadas as etapas do *Tradeoff* com cálculo e música, para o grupo da amostra com problemas com mais de cinco critérios, como podem ser vistas na Tabela 11 para o canal F3. O p-valor do teste de Wilcoxon, por sua vez, é apresentado na Tabela 12.

Tabela 11 – Demonstração da comparação das amostras BANDA ALFA – CANAL F3 para o grupo de problemas com mais de cinco critérios.

Usuário	Cálculo	Bisseção
1	0,939	0,734
2	0,685	0,227
3	0,020	0,297
...	...	...
9	-0,519	0,541

Usuário	Música	Bisseção
1	1,139	0,734
2	0,530	0,227
3	-0,167	0,297
...	...	...
9	0,601	0,541

Usuário	Cálculo	Ordenação
1	0,939	0,882
2	0,685	0,456
3	0,020	1,264
...	...	...
9	-0,519	0,582

Usuário	Música	Ordenação
1	1,139	0,882
2	0,530	0,456
3	-0,167	1,264
...	...	...
9	0,601	0,582

Usuário	Cálculo	Exploração
1	0,939	1,047
2	0,685	0,515
3	0,020	1,253
...	...	...
9	-0,519	0,178

Usuário	Música	Exploração
1	1,139	1,047
2	0,530	0,515
3	-0,167	1,253
...	...	...
9	0,601	0,178

Usuário	Cálculo	Elicitação
1	0,939	1,94131908
2	0,685	0,84664058
3	0,020	0,74788
...	...	...
9	-0,519	0,73356932

Usuário	Música	Elicitação
1	1,139	1,94131908
2	0,530	0,84664058
3	-0,167	0,74788
...	...	...
9	0,601	0,73356932

Fonte: A Autora (2023)

Tabela 12 – Resultado do p-valor no teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA ALFA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,6523	0,6523	0,8203	0,25	0,4258	0,2031	0,8203	0,7344
Música		0,2131	0,8203	0,3594	0,3008	0,8203	0,09766	0,4258	0,9102

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,05469	0,05469	0,3008	0,3008	0,003906	0,4961	0,09766	0,01953
Música		0,25	0,8203	1	0,25	0,01172	0,5703	0,05469	0,3008

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,05469	0,007812	0,03906	0,09766	0,01172	0,03906	0,07422	0,007812
Música		0,5703	0,02734	0,4258	0,2031	0,003906	0,3594	0,05469	0,09766

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		0,1289	0,05469	0,01953	0,25	0,03906	0,2031	0,3008	0,05469
Música		0,5703	0,09766	0,03906	0,1641	0,05469	0,4258	0,1289	0,1289

Fonte: A Autora (2023)

A Tabela 13 destaca o resultado do teste, convertendo em 1 as comparações cujo p-valor maior é maior que 0,01 (1%), e 0 caso contrário.

Tabela 13 - Diferenças identificadas através do teste de Wilcoxon para grupo acima de 5 critérios – BANDA ALFA

		Bisseção							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

		Ordenação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	0	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

		Exploração							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	0	1	1	1	1	1	0
Música		1	1	1	1	0	1	1	1

		Elicitação							
		AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC5	FC6
Cálculo		1	1	1	1	1	1	1	1
Música		1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: A Autora (2023)

Na Tabela 13 observa-se que na etapa da bisseção e elicitação os canais se mantem iguais, não indicam nenhuma diferença. Já na etapa de ordenação apenas o canal F7 difere. Na etapa de exploração os resultados indicaram diferenças para os canais AF4, F7 e FC6.

## 4.2 DISCUSSÃO

Ao analisar a banda teta, para problemas com até cinco critérios na etapa de bisseção os resultados não indicam nenhuma diferença estatística, se mantendo iguais em todos os canais. Na etapa de ordenação, de modo geral, os resultados indicaram diferenças para ambas as atividades de referência, tanto cálculo quanto música, entretanto, algumas diferenças foram observadas para os canais AF3 e F3 sugerindo maior proximidade dessa etapa com música. Por sua vez, os canais AF4 e FC5 mostraram o contrário, indicando maior proximidade com cálculo. Na etapa de exploração os resultados são semelhantes, indicando diferenças tanto para cálculo quanto para música, em que o canal AF3 indica maior aproximação com a etapa de música e o canal AF4, sugere uma maior proximidade a cálculo. Desse modo, os resultados sugerem que as atividades dessa etapa para esta amostra avaliada, considerando problemas com até cinco critérios e a banda teta, o decisor tem um comportamento que se distingue tanto para cálculo quanto para música, não sendo possível identificar uma proximidade, mesmo que pequena para uma das duas atividades.

Observa-se semelhanças, na etapa de elicitação da constante de escala, tanto com cálculo quanto com música, ao analisar o mesmo grupo, de até cinco critérios, exceto para o canal FC6, que indica uma maior aproximação com atividade de cálculo. Neste sentido, pode-se sugerir que na etapa de elicitação, o decisor circula entre um estado de maior esforço com momentos de alta concentração e também entre os estados mais automáticos, sendo isso levemente mais destacado para um estado de concentração e esforço, como sugere o canal FC6.

Em contrapartida, para o grupo com mais do que cinco critérios, analisando a banda teta, comportamento semelhante pôde ser observado entre as etapas de ordenação, exploração e elicitação. Nessas três etapas, para a maioria dos canais frontais, houve uma semelhança tanto para música quanto para cálculo, sendo essa semelhança um pouco mais evidente para a atividade de música. Na etapa de ordenação, os canais F4, F7 e FC6 sugerem maior aproximação com música do que cálculo, sugerindo, portanto, que esse estado, de respostas mais automáticas, é mais prevalente nessa etapa para esse grupo, assim como na etapa de exploração, em que os canais F4 e FC6, indicaram um pouco mais de aproximação com música. De modo semelhante, para a etapa de elicitação, também houve muita semelhança

com as atividades de referência, exceto para o canal F4, que indicou maior aproximação com música.

Ao analisar a banda alfa, observa-se que tanto para o grupo com problemas de até cinco critérios quanto para o grupo com problemas acima de cinco critérios, na etapa de bisseção e elicitação, nenhum dos canais diferem entre si, indicando que o decisor tem um comportamento que se iguala tanto para cálculo quanto para música, não sendo possível identificar uma proximidade.

Para o grupo com problemas de até cinco critérios, analisando a banda alfa, as etapas de ordenação e exploração tem um comportamento semelhante em alguns canais frontais, indicando uma semelhança mais evidente para a atividade de música. Na etapa de ordenação, os canais F7 e na etapa de exploração, os canais F3 e FC5 sugerem mais de aproximação com música do que cálculo, sugerindo, portanto, que esse estado, de respostas mais automáticas, é mais prevalente nessas etapas para esse grupo. Comportamento semelhante é observado no grupo com problemas acima de cinco critérios, na etapa de ordenação e exploração, onde os canais se aproximam mais de música. Na etapa de ordenação, o canal F7 sugere uma maior aproximação com música, enquanto na etapa de exploração os resultados indicam diferenças tanto para cálculo quanto para música, em que o canal AF4 e FC6 demonstra maior aproximação com a etapa de música e o canal F7, sugerindo uma maior proximidade a cálculo e que o decisor está em um estado mais automático. O resumo dos resultados é mostrado a seguir, no Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo dos resultados das análises realizadas

	Teta		Alfa	
	Até 5 critérios	Acima de 5 critérios	Até 5 critérios	Acima de 5 critérios
Bisseção	Nenhum dos canais diferem entre si.	Nenhum dos canais diferem entre si.	Nenhum dos canais diferem entre si.	Nenhum dos canais diferem entre si.
Ordenação	Os resultados indicaram diferenças para ambas as atividades de referência, sendo AF3 e F3 sugerindo maior proximidade dessa etapa com música e os canais AF4 e FC5 indicando maior proximidade com cálculo.	Os canais AF4, F7 e FC6 sugerem maior aproximação com música do que cálculo, enquanto FC5 uma aproximação maior com cálculo.	O canal F7 indica uma semelhança mais evidente para a atividade de música, enquanto o canal FC6 uma aproximação a cálculo.	O canal F7 sugere uma maior aproximação com música.

Exploração	O canal AF3 indica maior aproximação com a etapa de música e o canal AF4, sugere uma maior proximidade a cálculo.	Os canais F4 e FC6, indicaram uma aproximação com música, já o canal FC5 se aproxima mais de cálculo.	Os canais F3 e FC5 sugerem mais de aproximação com música do que cálculo.	O canal AF4 e FC6 demonstra maior aproximação com a etapa de música e o canal F7 uma maior proximidade a cálculo.
Elicitação	Apenas o canal FC6 diferiu, indicando uma maior aproximação com atividade de cálculo.	Apenas o canal AF4 direriu, se aproximando mais de música.	Nenhum dos canais diferem entre si.	Nenhum dos canais diferem entre si.

Fonte: A Autora (2023)

A partir disso, pode-se constatar que o número de critérios é um fator relevante no processo de elicitação de preferências, de modo que, quando aumenta-se o número de critérios, foi possível observar maiores semelhanças das etapas, seja ordenação, exploração quanto elicitação, com atividade de música. É esperado que ao aumentar o número de critérios, conseqüentemente a complexidade do processo também aumente. Entretanto, aparentemente, o aumento da complexidade foi acompanhado do aumento de um estado mais automático de respostas e não do aumento do esforço cognitivo demandado, sugerindo a adoção de uma estratégia de minimização de esforço. Isso faz sentido, já que por ser bastante complexo o procedimento *tradeoff*, com o aumento do número de critérios espera-se que aumente bastante o esforço demandado, além do que o decisor está disposto a fazer para resolução do problema. Estratégias de minimização do esforço empregado são comuns em situações de alta procura como um mecanismo de conservação dos recursos energéticos do cérebro (FEHRENBACHER & DJAMASBI, 2017; PAYNE, BETTMAN & JOHNSON, 1993; PUMA et al., 2018).

Além disso, a etapa de elicitação para o grupo com menos critérios foi a que mais se aproximou, ainda que levemente, a partir da análise do canal FC6 com a banda teta, da etapa de cálculo, o que de certa forma é desejado, já que é uma etapa fundamental onde as constantes de escalas são definidas. De maneira geral, um comportamento de concentração, engajamento e esforço é desejado em procedimentos de elicitação de preferências, considerando que um fornecimento consistente de informações de preferência, garantirá a construção de um modelo adequado de decisão.

### 4.3 INSIGHTS

Este estudo mostrou como as ferramentas de neurociência podem ajudar a melhorar o processo de apoio a decisão. Os resultados revelam que são inseridos aspectos da tomada de decisão que estão para além do controle do decisor, tais como o esforço cognitivo e as reações inconscientes. É esperado que ao aumentar o número de critérios consequentemente a complexidade do processo também aumente, mas não é o que de fato acontece. Adicionalmente, pode-se observar que, aparentemente, o aumento da complexidade foi acompanhado do aumento de um estado mais automático de respostas e não do aumento do esforço cognitivo demandado, sugerindo a adoção de uma estratégia de minimização de esforço. Desse modo, ao utilizar as ferramentas de neurociência é possível compreender a atividade cerebral dos decisores em diferentes situações, assim se torna possível prever comportamentos para reduzir inconsistências no processo de eliciação *Tradeoff*.

Os resultados obtidos nesse estudo fornecem *insights* que podem auxiliar nas definições de recomendações de melhoria, que agregam valor ao processo de decisão com o procedimento *Tradeoff*, como também contribuem com avanços em pesquisas. Ao analisar a banda de frequência teta e alfa, foi possível observar a necessidade do analista intervir no processo de decisão que utiliza o procedimento *Tradeoff*, orientando o decisor a se manter mais atento quando houver mais critérios e o mesmo deverá explicar devidamente como se dará as etapas de ordenação, exploração e eliciação, pois, vários resultados nessas etapas sugerem que suas atividades cerebrais estão mais próximas a música, ou seja, a um contexto de atividades mais automáticas, com menor esforço para a execução das tarefas. Essas três etapas são muito importantes para o seguimento do modelo de decisão, fazendo-se necessário que o decisor as execute de forma eficiente e atenta.

Na etapa de ordenação das constantes de escala são alocados os critérios na ordem que o decisor acredita que representam as suas preferências. Já nas etapas de exploração do espaço de consequências e eliciação das constantes de escala, são feitas comparações apresentando valores de consequências associadas a critérios adjacentes, seguindo a ordem definida na etapa de ordenação e, é solicitado ao decisor que encontre uma relação de indiferença para todas as comparações entre os critérios adjacentes, como essas duas últimas etapas são muito repetitivas, o decisor precisa estar atento, concentrado e engajado na tarefa.

Em adicional, os resultados obtidos nesse estudo fornecem *insights* que podem auxiliar também nas definições de recomendações de melhoria para o processo de decisão e seus avanços em pesquisas. Um desses *insights* está ligado a um resultado mais assertivo na

tomada de decisão, onde é sugerido que o analista esteja sempre à disposição do decisor, tirando suas dúvidas e explicando como todo o processo funciona, principalmente antes de iniciá-lo, deixando claro todas as etapas e que alguma delas vão ser cansativas e repetitivas, preparando assim o decisor.

Muitas inconsistências encontradas no processo decisório estão ligadas à demanda da tarefa, uma vez que quanto mais complexo é esse processo, mais recursos cognitivos podem ser exigidos, os quais nem sempre estejam disponíveis, levando ao aumento de um estado mais automático como estratégias de minimização de esforço. Neste sentido, uma outra sugestão é que o decisor seja exposto ao processo de decisão, se possível, em um momento em que esteja relaxado, descansado e disponível para fixar atenção apenas na tarefa de tomada de decisão, diminuindo assim as possíveis ações involuntárias no processo. É recomendado também que o decisor esteja consciente de suas escolhas e prioridades durante o processo decisório, mantendo-se consciente durante todo o processo, com clareza nos seus objetivos, garantindo assim um resultado satisfatório.

#### 4.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Os resultados obtidos corroboram os estudos cognitivos para a avaliação de sistemas de informação e a utilidade do uso de ferramentas de neurociência. Ao utilizar neurociência em decisão é possível entender melhor como o decisor se comporta frente a estímulos diversos, permitindo tornar a experiência com os SADs, em especial o do *Tradeoff*, ainda melhor, adaptando e corrigindo onde for necessário através de poderosos *insights* que podem ser obtidos, contribuindo com a criação de sugestões de melhorias para o procedimento *Tradeoff*.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

Devido à escassez de recursos e tempo para a resolução de problemas nas organizações e no cotidiano, eles devem ser usados de forma adequada. Desse modo os métodos e procedimentos multicritério e seus sistemas de apoio associados, que fornecem uma abordagem estruturada para a resolução de problemas complexos, são importantes que auxiliam os decisores. Utilizar esses métodos, procedimentos e sistemas, que ajudam no processo decisório, se tornam imprescindíveis para um melhor desempenho na tomada de decisão. Neste sentido, a neurociência se faz importante, buscando entender os aspectos comportamentais que influenciam e estão relacionados ao processo decisório.

Com o auxílio do EEG, o presente estudo buscou comparar as atividades cerebrais durante a resolução de cálculos matemáticos e ao assistir clipes musicais com as etapas do SAD do *Tradeoff*, investigando aspectos cognitivos relacionados ao processo de elicitación de preferências. A análise dos dados foi feita através de comparações pareadas das amostras por meio do teste de Wilcoxon, nas bandas de frequência teta e alfa, sendo possível investigar o quanto as atividades cerebrais de música ou de atividades de resolução de cálculos se aproximavam das atividades cerebrais nas etapas do *Tradeoff*. Com base na banda teta para o grupo com menos critérios, os resultados não indicaram nada muito significativo para as etapas de ordenação e exploração. Na verdade, nessas etapas houve maior diferenças entre ambas as etapas. Já para a etapa de elicitación, para o mesmo grupo, os resultados indicaram bastante similaridade com ambas as atividades de referência, constatando uma aproximação maior com cálculo do que com música.

Para o grupo com mais critérios, ainda na banda teta, foi observado que para as etapas de ordenação, exploração e elicitación, ainda que pequena, houve uma maior aproximação com música, sugerindo um estado mais automático. O mesmo observou-se para os grupos que foram analisados na banda alfa, tanto para o grupo com menos critérios quanto para o grupo com mais critérios, que indicaram uma maior aproximação, ainda que pequena, com música, nas etapas de ordenação e exploração. Neste sentido, a partir do presente estudo, foi possível observar que o efeito do maior número de critérios unido à complexidade do procedimento *Tradeoff*, diminui o esforço aplicado. Tal comportamento vai de encontro ao esperado, implicando em maiores riscos de inconsistências. Esses resultados podem direcionar ações de melhorias para o sistema, pois, ao interagir com tais sistemas é desejável que o decisor se

mantenha engajado, fornecendo respostas que traduzam as suas preferências reais, e, portanto, se tenham informações consistentes.

Os resultados obtidos nesta pesquisa podem ter impactos sociais e econômicos, pois auxiliam a aprimorar o processo decisório, levando os gestores a tomar melhores decisões, considerando os aspectos comportamentais nas abordagens de apoio a decisão multicritério. Neste sentido, em relação aos impactos sociais a presente pesquisa é positiva, uma vez que busca entender o comportamento do decisor, ajudando a tomar decisões mais assertivas e com qualidade, melhorando o seu desempenho e, do ponto de vista econômico, tende a aumentar a competitividade das empresas e diminuir o tempo e os custos para a tomada de decisão, uma vez que torna o processo de tomada de decisão menos repetitivo e assertivo.

Assim, é possível considerar o presente trabalho como sendo uma contribuição para a interação entre os atores do processo decisório, bem como, para as áreas de decisão multicritério e avaliação analítica com ferramentas de neurociência, fornecendo *insights* para a melhoria da aplicação do *Tradeoff*, principalmente no que está ligado ao esforço cognitivo, objetivando que o decisor tenha mais concentração durante todas as etapas, sem haver estados de respostas automáticas.

## 5.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Embora os resultados do presente estudo sejam pertinentes, a pesquisa teve algumas limitações, como a amostra restrita de participantes no experimento, que era formada apenas por alunos dos cursos de engenharia de produção e administração. Além disso, como é necessário a filtragem dos dados do eletroencefalograma (EEG) a fim de excluir artefatos como os decorrentes de barulho do ambiente, piscadas e movimentos oculares, foram perdidos alguns participantes da amostra. Devido a complexidade do tratamento e obtenção dos dados na área de neurociência, é comum que as amostras tenham um número pequeno de participantes, entretanto, apesar dessa limitação no tamanho da amostra, a presente pesquisa apresentou análises robustas e que contribuem para estudos acadêmicos e para a sociedade.

Mesmo com os resultados sendo relevantes e sugestivos acerca das comparações, sugere-se para trabalhos futuros mais análises e testes, considerando uma amostra mais ampla e diversificada e incluindo outros tipos de análises, como comparar os cursos de administração e engenharia de produção, considerar o gênero e o grau de conhecimento em métodos multicritério, avaliar o número de perguntas na etapa da elicitação, verificar a influência do tipo predominante de critérios no problema, podendo testar as hipóteses levantadas nesse trabalho ou criar novas hipóteses.

Ainda como sugestões de trabalhos futuros, as análises podem ser complementadas com o uso de outros equipamentos de neurociências, como *Eye-tracking*, responsável pelo rastreamento ocular, o que poderá auxiliar na melhor compreensão dos aspectos relacionados ao processo decisório, por meio de dados psicofisiológicos, como sacadas, microsacadas, fixação ocular, dilatação da pupila, agregando informações acerca do esforço cognitivo, dispersão de atenção, concentração, dentre outros aspectos por parte do decisor.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.; MORAIS, D. **The influence of music and arithmetic problems solving in the tradeoff elicitation context.** INSID, Natal, 2019.
- ARMEL, K.C.; BEAUMEL, A.; RANGEL, A. Biasing simple choices by manipulating relative visual attention. **Judgment and Decision Making**, v. 3, p. 396-403, 2008.
- BARGAL, I. <http://www.bargal.co.il/index2.php?id=9&64roductid=498&lang=HEB><acesso 08 de setembro de 2022>
- BARBOSA, A. A. L., DE MOURA, J. A., & DE MEDEIROS, D. D. Positioning of design elements on the packaging of frozen convenience food and consumers' levels of attention: An experiment using pizza boxes. **Food Quality and Preference**, 87, 104044. 2021.
- BECHARA, Antoine; DAMASIO, Antonio R.. The somatic marker hypothesis: a neural theory of economic decision. **Games And Economic Behavior**, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 336-372, ago. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geb.2004.06.010>.
- BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis.** Kluwer Academic Publisher, 2002.
- DA SILVA, A. L. C. DE L.; COSTA, A. P. C. S.; DE ALMEIDA, A. T. Exploring cognitive aspects of FITradeoff method using neuroscience tools. **Annals of Operations Research**, 2021.
- DA SILVA, A. L. C. L., COSTA, A.P.C.S. & DE ALMEIDA, A.T. Exploring cognitive aspects of FITradeoff method using neuroscience tools. **Annals of Operations Research**, 1-23, 2021.
- DE ALMEIDA, A.T., *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo modelos de decisão multicritério.* São Paulo. **Editora Atlas**, 2013.
- DE ALMEIDA, A.T.; FERREIRA, R; CAVALCANTE, C. A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. **IMA Journal of Management Mathematics**, 26(3): 249-271, 2015.
- DE ALMEIDA, A.T., ROSELLI, L.R.P., MORAIS, D.C., COSTA, A.P.C.S. Neuroscience Tools for Group Decision and Negotiation. In: Kilgour D.M., Eden C. (eds) **Handbook of Group Decision and Negotiation.** Springer, Cham, 2021.
- DIMOKA, A.; PAVLOU, P. A.; DAVIS, F. NeuroIS: The Potential of Cognitive Neuroscience for Information Systems Research. **Information Systems Research Articles in Advance**, p. 1-18, 2010.
- DJAMASBI, S. Eye tracking and web experience. **AIS Transactions on Human Computer Interaction**, n. 6, v. 2, p. 37-54, 2014.
- EAGLEMAN, D. **The Brain: A story of you.** New York: Pantheon Books, 2015.

EMOTIV EPOC+ - 14 CHANNEL WIRELESS EEG HEADSET. EMOTIV. Disponível em: <https://www.emotiv.com/epoc/>. Acesso em: 08 de setembro 2022.

FEHRENBACHER, D. D.; DJAMASBI, S. Information systems and task demand: An exploratory pupillometry study of computerized decision making. **Decision support systems**, v. 97, p. 1-11, 2017.

FISCHER, N. L.; PERES, R.; FIORANI, M. FRONTAL Alpha Asymmetry and Theta Oscillations Associated With Information Sharing Intention. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 12, n. August, p. 1–12, 2018.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. **Operational Research**, v. 19, n. 4, p. 909–931, 2019.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GLIMCHER P.; FEHR E. **Neuroeconomics: decision making and the brain**. San Diego: Academic Press, 2014.

GLIMCHER, P.W; RUSTICHINI, A. NEUROECONOMICS: The Consilience of Brain and Decision. **Science**, 5695:447-452, 2004.

GOUCHER-LAMBERT, K., MOSS, J., CAGAN, J. Inside the Mind: Using Neuroimaging to Understand Moral Product Preference Judgments Involving Sustainability. **Journal of Mechanical Design**, 139(4): 041-103, 2017.

HAKIMI, S.; HARE, T. A. Enhanced neural responses to imagined primary rewards predict reduced monetary temporal discounting. **Journal of Neuroscience**, v.35. n. 38, p. 13103-13109, 2015.

HESS, E.H.; POLT, J.M. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. **Science**, v. 143, n. 3611, p. 1190-1192, 1964.

HESSELS, R.S; NIEHORSTER, D.C.; NYSTROM, M; ANDERSSON, R; HOOGE, I.T.C; IS the eye-movement field confused about fixations and saccades? A survey among 125 researchers. **Royal Society Open Science**. 5(8): 180502. 2018.

HOLMQVIST, K.; NYSTRÖM, M.; ANDERSSON, R.; DEWHURST, R.; JARODZKA, H.; VAN DE WEIJER, J. **Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2011.

HUNT, L. T., DOLAN, R. J., BEHRENS, T. E. Hierarchical competitions subserving multi-attribute choice. **Nature neuroscience**, 17(11), 1613-1622, 2014.

KAHNEMAN, D. **Think, Fast and Slow**. Farrar, Straus and Giroux: New York, 2013.

KAHNEMAN, D. **Attention and Effort**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1973.

KAHNEMAN, D.; BEATTY, J. Pupil diameter and load on memory. **Science**, v. 154, n. 3756, p. 1583-1585, 1966.

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. Decision making with multiple objectives, preferences, and value tradeoffs. New York: Wiley, 1976.

KORHONEN, P., & WALLENIUS, J. Behavioral issues in MCDM: Neglected research questions. **Multicriteria analysis**. Berlin: Springer, Heidelberg, 412-422, 1997.

KRET, M. E.; SJAK-SHIE, E.E. Preprocessing pupil size data: Guidelines and code. **Behavior Research Methods**, v. 51, p. 1336-1342, 2019.

KHUSHABA, R. N.; WISE, C.; KODAGODA, S.; LOUVIERE, J.; KAHN, B. E.; TOWNSEND, C. Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 9, p. 3803-3812, 2013.

KIM BE, SELIGMAN D, KABLE J.W. PREFERENCE reversals in decision making under risk are accompanied by changes in attention to different attributes. **Front Neuroscience**, 6:109, 2012.

KRAUZLIS, R. J; GOFFART, L; HAFED, Z.M. NEURONAL control of fixation and fixational eye movements. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2017.

LEOTTI, L. A.; YENGAR, S. S.; OCHSNER, K. N. Born to choose: the origins and value of the need for control. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 14, p. 457-463, 2010.

LIEBMAN, E.; STONES, P; WHITE, C.N. HOW Music Alters Decision Making – Impact of Music Stimuli on Emotional Classification. 16th **International Society for Music Information Retrieval Conference**, 2015.

MASSAR, S. A. A. et al. Rewards boost sustained attention through higher effort: A value-based decision making approach. **Biological Psychology**, v. 120, p. 21–27, 2016.

MARTINEZ-CONDE, S.; MACKNIK, S. L.; HUBEL, D. H. The role of fixational eye movements in visual perception. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 5, p. 229-240, 2004.

MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. (2ed.) Rio de Janeiro, **Elsevier**, 2012. p. 47-63.

MIGUEL, C. A. P; FLEURY, A; MELLO, P. H. C; NAKONO, H. D; DE LIMA, P. E; TURRIONI, B. J. et al. METODOLOGIA de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.

MORÁN, A; SORIANO, M.C; IMPROVING the quality of a collective signal in a consumer EEG headset. *PLoS ONE* 13(5). 2018.

MORIDIS, C.N. *et al.* Using EEG Frontal Asymmetry to Predict IT User's Perceptions Regarding Usefulness, Ease of Use and Playfulness. **Appl Psychophysiol Biofeedback** 43, 1–11 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9379-8>

MULLER-PUTZ, G et al. (2015). Electroencephalography (EEG) as a Research Tool in the Information Systems Discipline: Foundations, Measurement, and Applications. **Communications of the Association for Information Systems**, V. 37, Article 46.

NAQVI, N., SHIV, B., & BECHARA, A. THE ROLE of Emotion in Decision Making. **Current Directions in Psychological Science**, 15(5), 260–264. 2006.

NETTO, A. A. T. C; COLAFEMINA, J. F.; MOVIMENTOS sacádicos em indivíduos com alterações cerebelares. *Braz. j. otorhinolaryngol. (Impr.)*, São Paulo , v. 76, n. 1, p. 51-58, 2010.

ÖZEROL, G; KARASAKAL, E. A parallel between regret theory and outranking methods for multicriteria decision making under imprecise information. **Theory and Decision**, 65(1): 45-70, 2008.

PAYNE, J. W. et al. **The adaptive decision maker**. Cambridge university press, 1993.

PEREIRA, L.S.; MORAIS, D.C.(a) Multicriteria decision model to establish maintenance priorities for wells in a groundwater system. **Water Resources Management**, 1-16, 2020.

POGODA, L.; HOLZER, M.; MORMANN, F.; WEBER, B. Multivariate representation of food preferences in the human brain. **Brain and cognition**, v. 110, p. 43-52, 2016.

PLASSMANN, H.; VENKATRAMAN, V.; HUETTEL, S. Yoon, C. CONSUMER Neuroscience: Applications, Challenges, and Possible Solutions. **Journal of Marketing Research**, v. 52, n. 4, p. 427-435, 2015.

POIRIER, M. W.; DECKER, C.; SPERTUS, J. A.; MCDOWD, J. M. What eye-tracking methods can reveal about the role of information format in decision-aid processing: an exploratory study. **Patient Education and Counseling**, v. 102, n. 11, p. 1977-1984, 2019.

POUDEL, G. R.; BHATTARAI, A.; DICKINSON, D. L.; DRUMMOND, S. P. Neural correlates of decision-making during a Bayesian choice task. **NeuroReport**, v. 28, n. 4, p. 193-199, 2017.

PRODUCT Description, Tobii X/T series Eye Trackers. <<https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/product-descriptions/tobii-pro-tx-product-description.pdf/?v=1.0>>Acesso em 08 de setembro de 2022.

PUMA, S. et al. Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. **International Journal of Psychophysiology**, v. 123, p. 111-120, 2018.

REUTER, M. E MONTANG, C. (2016). **Neuroeconomics: Studies in Neuroscience, Psychology**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

RICHARDSON, D.; SPIVEY, M. J. Eye-tracking: characteristics and methods. In: WNEK, G.; BOWLING, G. (Eds.). **Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering**. Nova York: Informa Healthcare, 2004.

ROSELLI, L. R. P. et al. Neuroscience experiment applied to investigate decision-maker behavior in the tradeoff elicitation procedure. **Annals of Operations Research**, v. 289, n. 1, p. 67–84, 2020.

ROSELLI, L.R.P., DE ALMEIDA, A.T. (2020) Improvements in the FITradeoff Decision Support System for Ranking Order Problematic Based in a Behavioral Study with NeuroIS Tools. In: Davis F.D., Riedl R., vom Brocke J., Léger PM., Randolph A.B., Fischer T. (eds) **Information Systems and Neuroscience**. NeuroIS 2020. Lecture Notes in Information Systems and Organisation, vol 43. Springer, Cham.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. **Kluwer Academic Publishers**, 1996.

SANFEY, A.G. SOCIAL Decision-Making: Insights from Game Theory and Neuroscience. **Science** 318, 598. 2007.

SATPATHY, J. ISSUES in neuro-management decision making. **International Journal of Business Managment**. Vol. 2, No. 2, December 2012.

SHIV, B. et al. INVESTMENTS behavior and the negative side of emotion. *Psychological Science*, 2005.

SHOJAEIZADEH, M.; DJAMASBI, S.; PAFFENROTH, R. C.; TRAPP, A.C. Detecting task demand via an eye tracking machine learning system. **Decision Support System**, v. 116, p. 91- 101, 2019.

SILVA, F. B; SILVA, A; COSTA, A. P. **Uso de eletroencefalograma (EEG) para estudo dos aspectos comportamentais inerentes ao procedimento Tradeoff**. XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep): Foz do Iguaçu, Paraná, 2022.

STROMBACH, T.; WEBER, B.; HANGEBRAUK, Z.; KENNING, P.; KARIPIDIS, I. I.; TOBLER, P. N.; KALENSCHER, T. SOCIAL discounting involves modulation of neural value signals by temporoparietal junction. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 5, p. 1619-1624, 2015.

TOBII PRO X3-120 SCREEN-BASED EYE TRACKER. TOBII. Disponível em: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-x3-120/>. Acesso em: 08 de setembro de 2022.

THALER, L.; SCHULTZ, A.C.; GOODALE, M.A.; GEGENFURTNER, K.R.; WHAT is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixation eye movements. **Vision Research**; Vol 76. 31-42. January 2013.

URIGÜEN, J. A.; GARCIA-ZAPIRAIN, B. EEG artifact removal - State-of-the-art and guidelines. *Journal of Neural Engineering*, v. 12, n. 3, p. 31001, 2015 VARTANIAN, O.; MANDEL, D.R. **Neuroscience of decision making**. Psychology Press, 2011.

VINCKE, J. P; BRANS, PH. A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, 31(6): 647-656, 1985.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. **Decision analysis and behavioral research**. Cambridge University Press, Cambridge, 1986.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1–12, 1993.