



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANTONIO REINALDO SILVA NETO

**UM ESTUDO SOBRE AS REAÇÕES NEUROFISIOLÓGICAS DE DECISORES  
DIANTE DO PROCESSO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

Caruaru  
2023

ANTONIO REINALDO SILVA NETO

**UM ESTUDO SOBRE AS REAÇÕES NEUROFISIOLÓGICAS DE DECISORES  
DIANTE DO PROCESSO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

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

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente

Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Marcelo Hazin Alencar

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

S586e Silva Neto, Antonio Reinaldo.  
Um estudo sobre as reações neurofisiológicas de decisores diante do processo de decisão multicritério. / Antonio Reinaldo Silva Neto. – 2023. 74 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, 2023. Inclui Referências.

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Neurociências. 3. Comportamento organizacional. 4. FITradeoff. 5. Eye-tracking. I. Clemente, Thárcylla Rebecca Negreiros (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-103)

ANTONIO REINALDO SILVA NETO

**UM ESTUDO SOBRE AS REAÇÕES NEUROFISIOLÓGICAS DE DECISORES  
DIANTE DO PROCESSO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

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

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Aprovada em: 27/02/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Anderson Lucas Carneiro de Lima da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariana Rodrigues de Almeida (Examinadora Externa)  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

À Deus, por tudo o que conquistei até aqui e a tudo o que ainda irei conquistar.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço ao meu Deus, por toda a sabedoria concedida e por me honrar com mais uma conquista. Glórias à Ele!

Aos meus pais, que são minha base e que sempre me apoiam em todas as minhas decisões acadêmicas, ainda que elas não sejam pertinentes aos sonhos deles.

A minha esposa, que é quem convive diariamente comigo e sabe de todos os percalços para chegar até aqui. Obrigado por todo apoio nas maiores adversidades!

A minha orientadora, a Professora Thárcylla Clemente, que com toda calma, paciência e cautela conduziu este processo de mestrado. Obrigado por topar trabalhar comigo professora! Ainda, estendo meus agradecimentos ao meu co-orientador, o Professor Marcelo Hazin.

Aos demais professores do curso de mestrado e também ao secretário do programa, o Senhor George Andrade, que sempre esteve disposto e disponível a auxiliar os estudantes nas demandas burocráticas.

A todos os meus amigos da pós-graduação, que fizeram parte desta caminhada na Universidade.

E a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para a minha chegada até aqui.

Por fim, também deixo meus agradecimentos à CAPES, que possibilitou a condução deste trabalho.

## RESUMO

Os problemas de tomada de decisão multicritério apresentam um grau de complexidade maior por envolver diferentes critérios de avaliação que, muitas vezes, são conflitantes entre si, o que exige dos decisores um maior esforço cognitivo para a resolução desse tipo de problema. Buscando enfrentar esta complexidade, os métodos e modelos de apoio a decisão multicritério visam maximizar o entendimento das diversas interações e variáveis envolvidas na estrutura de um problema de decisão multicritério, esperando-se assim que os decisores dispensem concentração e engajamento na sua resolução, sendo que o esforço cognitivo empregado não lhe gere estresse. Neste cenário, a neurociência e suas ferramentas surgem como um recurso poderoso para fornecer *insights* sobre o comportamento humano durante o processo decisório. A presente pesquisa visa analisar as reações neurofisiológicas de indivíduos diante de um problema de tomada de decisão multicritério a partir da captura de dados oculares. Para isso, um experimento neurocientífico foi conduzido com 42 participantes, divididos em duas amostras de tamanhos iguais, sendo que uma possuía conhecimento em decisão multicritério e outra sem o conhecimento. Foi utilizado o *Eye-tracking* para capturar os dados oculares dos indivíduos enquanto estes resolviam um problema de decisão utilizando o método FITradeoff. As análises foram realizadas com o objetivo de indicar o comportamento e a atenção dos participantes na etapa de avaliação intracritério do método FITradeoff. Esta etapa específica foi selecionada para as análises por tratar-se de uma nova funcionalidade do FITradeoff, que ainda não foi explorada na literatura. Com isto, os resultados indicaram que ambas as amostras possuem tendência de queda no tempo dispensado para o tratamento do problema, e no diâmetro médio da pupila corrigida por *baseline* durante a etapa de avaliação intracritério. Além disso, também foi possível verificar que a amostra com conhecimento em decisão multicritério apresentou uma média de dilatação da pupila maior que a amostra sem conhecimento, indicando assim um maior esforço cognitivo dispensado por esses participantes.

**Palavras-chave:** decisão multicritério; neurociência em decisão; aspectos comportamentais em decisão; FITradeoff; *Eye-tracking*.

## ABSTRACT

Multi-criteria decision-making problems present a greater degree of complexity as they involve different evaluation criteria that often conflict with each other, which requires decision-makers to make a greater cognitive effort to resolve this type of problem. Seeking to face this complexity, multi-criteria decision support methods and models aim to maximize the understanding of the various interactions and variables involved in the structure of a multi-criteria decision problem, hoping that decision-makers will dispense with concentration and engagement in its resolution, with the cognitive effort used does not generate stress. In this scenario, neuroscience and its tools emerge as a powerful resource to provide insights into human behavior during the decision-making process. The present research aims to analyze the neurophysiological reactions of individuals faced with a multi-criteria decision-making problem based on the capture of ocular data. To this end, a neuroscientific experiment was conducted with 42 participants, divided into two samples of equal size, one with knowledge in multi-criteria decision making and the other without knowledge. *Eye-tracking* was used to capture individuals' ocular data while they solved a decision problem using the FITradeoff method. The analyzes were carried out with the aim of indicating the participants' behavior and attention in the intra-criteria evaluation stage of the FITradeoff method. This specific step was selected for the analyzes because it is a new feature of FITradeoff, which has not yet been explored in the literature. With this, the results indicated that both samples have a tendency to decrease in the time spent to treat the problem, and in the mean pupil diameter corrected by baseline during the intra-criteria evaluation stage. Furthermore, it was also possible to verify that the sample with knowledge in a multi-criteria decision, the average pupil dilation was higher than the sample without knowledge, thus indicating a greater cognitive effort made by these participants.

**Keywords:** multi-criteria decision; decision neuroscience; behavioral aspects in decision making; FITradeoff; *Eye-tracking*.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	12
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1	PROBLEMAS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	16
2.2	MÉTODO FITRADEOFF E SEU SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD) .....	19
<b>2.2.1</b>	<b>Estudos com as ferramentas de neurociência para melhorar o SAD do FITradeoff .....</b>	<b>23</b>
2.3	AS PRINCIPAIS FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA USADAS NAS INVESTIGAÇÕES COMPORTAMENTAIS DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO .....	24
2.4	A NEUROCIÊNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO COMPORTAMENTAL DOS DECISORES DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	30
<b>2.4.1</b>	<b>Estudo dos movimentos oculares em experimentos de decisão .....</b>	<b>32</b>
2.5	A NEUROCIÊNCIA VOLTADA PARA ANÁLISES COMPORTAMENTAIS DURANTE A TOMADA DE DECISÃO APLICADA EM OUTRAS ÁREAS.....	34
2.6	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTES TRABALHOS .....	38
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA .....	39
3.2	ETAPAS DA PESQUISA .....	40
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTO DE NEUROCIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO DECISOR .....</b>	<b>43</b>
4.1	ETAPAS DO EXPERIMENTO .....	43
<b>4.1.1</b>	<b>Descrição do problema .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Seleção da amostra .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Equipamentos e materiais utilizados.....</b>	<b>46</b>

<b>4.1.4</b>	<b>Aplicação do experimento.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Processamento dos dados .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Análises dos dados e resultados .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
5.1	ANÁLISE DA DILATAÇÃO MÉDIA DA PUPILA CORRIGIDA POR BASELINE ENTRE GRUPOS .....	53
5.2	ANÁLISE DA DILATAÇÃO MÉDIA DA PUPILA CORRIGIDA POR BASELINE PARA CADA GRUPO .....	56
5.3	ANÁLISE DO TEMPO DE RESPOSTA NOS CRITÉRIOS ENTRE OS GRUPOS .....	59
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo decisório é comum no cotidiano das organizações e das pessoas (DE ALMEIDA *et al.*, 2015) e em algumas ocasiões é considerado complexo, haja vista a presença da multiplicidade de alternativas e critérios, que por vezes são conflitantes entre si (KEENEY; RAIFFA, 1976; DE ALMEIDA *et al.*, 2015). A complexidade inerente a essas decisões, em muitas situações demanda um esforço cognitivo substancial por parte dos tomadores de decisão.

Neste contexto, Eagleman (2015) afirma que o ser humano não utiliza apenas a razão para tomar as suas decisões, haja vista que os indivíduos são influenciados por fatores racionais e irracionais, que estão ligados ao inconsciente humano. Na mesma perspectiva, Glimcher (2014) discorre que vários são os fatores que influenciam os aspectos inconscientes, a exemplo das experiências passadas, informações sensoriais do ambiente, etc., sendo que estas podem ser informações ou situações que influenciam as pessoas a tomarem decisões inconscientes de maneira rápida.

Em diversas ocasiões que envolvem a tomada de decisão, os atores principais, ora decisores, necessitam descarregar um alto grau de esforço cognitivo para chegarem às suas escolhas. A hipótese subjacente é que a magnitude da complexidade do problema está diretamente relacionada ao esforço cognitivo exigido, e compreender essa dinâmica torna-se vital para a eficácia das decisões organizacionais.

Buscando confirmar essa hipótese, as análises do esforço cognitivo dos decisores vem possibilitando a criação de várias teorias sobre o comportamento e a resposta neurofisiológica dos indivíduos no envolvimento com tarefas complexas (WESTBROOK; BRAVER, 2015). Para entender esses aspectos, a neurociência se mostra como uma opção, pois possibilita a compreensão - a partir de sua multidisciplinaridade - das emoções, pensamentos, ações e aprendizados humanos (BENFICA; BARBOSA, 2015). Logo, é a partir da utilização das ferramentas neurocientíficas (SMITH; HUETTEL, 2010) com as lentes direcionadas para analisar os problemas de decisão, que se torna factível compreender os aspectos cognitivos do ser humano (FERREIRA, 2022). Neste sentido, é possível enxergar o comportamento das variáveis psicofisiológicas dos decisores enquanto estes estão diante de um problema de tomada de decisão multicritério.

Na outra ponta, existem as diversas metodologias, abordagens e sistemas que foram desenvolvidos para auxiliar os decisores na solução de problemas de decisão multicritério. Essas metodologias presentes na literatura buscam oferecer aos decisores experiências profícuas durante o processo decisório (DE ALMEIDA, 2019). Como dito, a literatura dispõe de variados métodos de apoio aos problemas de decisão multicritério, ou *Multi-criteria Decision Making* do inglês (*MCDM*) e um deles é o FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE ALMEIDA *et al.*, 2021) que possui a mesma estrutura axiomática do tradeoff tradicional no contexto do Multi-Attribute Value Theory – MAVT (KEENEY; RAIFFA, 1976).

O FITradeoff trabalha a partir do julgamento de elicitación flexível inserido em um sistema de apoio à decisão (SAD) que utiliza informações reduzidas e converte isto em um processo mais simples e com menores inconsistências (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). O SAD do FITradeoff está inserido em uma modelagem multicritério que se alinha com diversos recursos computacionais interativos. Além disso, trata-se de um método que já vem sendo utilizado em diversas aplicações voltadas para decisões práticas do cotidiano (GUSMÃO; MEDEIROS, 2016; DELL’OVO *et al.*, 2017; FREJ *et al.*, 2017; KANG *et al.*, 2018; FOSSILE *et al.*, 2020; DOS SANTOS *et al.*, 2020; DE ALMEIDA *et al.*, 2021 (a)).

Neste sentido, este trabalho busca, assim, explorar a relação entre a complexidade dos problemas de decisão e o correspondente esforço cognitivo dispensado. Ao integrar *insights* da área cognitiva e neurociência com problemas de decisão multicritério, almeja-se proporcionar uma compreensão mais profunda dos processos decisórios em contextos complexos e, por conseguinte, contribuir para o aprimoramento das práticas de gestão. Ou seja, este trabalho não apenas tece uma narrativa sobre a interdependência entre complexidade decisória e esforço cognitivo, mas busca também desenhar uma ponte entre as dimensões cognitivas e fisiológicas desse fenômeno.

Assim sendo, esta pesquisa trata-se de um estudo comportamental, com o intuito de averiguar a reação neurofisiológica, a partir da pupila dos participantes, diante da resolução de um problema de decisão multicritério. Para tanto, utilizou-se um experimento com ferramentas da neurociência, onde os participantes precisaram tomar decisões diante de um problema com múltiplos critérios a partir da utilização do SAD do FITradeoff (<http://www.cdsid.org.br/fitradeoff/>). Para capturar as variáveis neurofisiológicas, utilizou-se o *Eye-tracking* que serviu de apoio para colher os dados

da pupila e o EEG para capturar os sinais das ondas cerebrais. Na sequência, apenas os dados capturados a partir do *Eye-tracking* foram analisados na busca de identificar os comportamentos e atenção dos usuários durante a tomada de decisão. As análises centraram-se na etapa de avaliação intracritério do FITradeoff e com isto, busca-se fazer uma investigação do comportamento e atenção dos participantes diante da utilização deste modelo para solucionar um problema de decisão multicritério.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A tomada de decisão é um elemento essencial que está presente em qualquer contexto (GLIMCHER, 2004) e representa um desafio significativo, exigindo a consideração e avaliação de múltiplos fatores antes de uma escolha ser feita. A complexidade inerente a esses problemas muitas vezes resulta em um esforço cognitivo considerável por parte dos decisores. À medida em que as decisões se tornam mais complexas, a carga cognitiva enfrentada pelos decisores aumenta proporcionalmente.

É neste sentido que entender como os indivíduos reagem enquanto tomam suas decisões diante de problemas com múltiplos critérios torna-se importante e crucial para o aprimoramento dos processos. Assim, capturar dados neurofisiológicos oferece uma janela única para os processos mentais subjacentes, permitindo uma análise mais holística e precisa. Nesta janela, esta pesquisa se justifica a partir da contribuição para a evolução da literatura relacionada aos estudos comportamentais dos decisores na tomada de decisão multicritério, estando deste modo alinhada com a área de Neurociência em Decisão (*Decision Neuroscience*).

A viabilidade deste estudo é respaldada por avanços notáveis em tecnologias de captura neurocientífica, tornando a coleta de dados mais acessível e eficiente. É neste cenário que as ferramentas neurocientíficas não invasivas, mostram-se como uma alternativa viável para estes tipos de estudos, principalmente quando levados em consideração o custo-benefício. Além disso, a utilização do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) do FITradeoff não apenas simplifica a aplicação da *MCDM*, mas também facilita a integração da captura de dados oculares, proporcionando uma abordagem abrangente e de custo-efetividade.

Ainda, este estudo contribuirá de forma prática, a partir da possibilidade da realização de comparações das atividades neurofisiológicas de dois grupos de indivíduos, durante o processo de tomada de decisão multicritério no SAD do

FITradeoff. Dessa forma, será possível verificar, por meio das análises, quais são os contextos em que existe similaridade, diferenças e até mesmo maior ou menor carga cognitiva, bem como realizar as análises comparativas entre os comportamentos dos dois grupos.

Este estudo concentrou-se em analisar as reações neurofisiológicas dos participantes diante da resolução do problema de decisão multicritério no SAD do FITradeoff, especificamente na etapa de avaliação intracritério, que é uma nova funcionalidade do sistema. Vale ressaltar que trabalhos envolvendo o FITradeoff na área da neurociência já existem na literatura, porém esta pesquisa avança no tema, principalmente por buscar analisar uma nova etapa do FITradeoff que foi inserida recentemente. Por tratar-se de uma função nova, não existem estudos que busquem averiguar os comportamentos dos indivíduos nesta etapa. Para tanto, este trabalho busca preencher esta lacuna da literatura.

Por fim, ressalta-se que esta pesquisa poderá contribuir com melhorias ao SAD do FITradeoff e também pode servir de apoio as organizações, que podem vir a utilizar este estudo ao seu favor, como por exemplo, na seleção do colaborador adequado para ser o responsável por determinadas situações decisórias.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este tópico apresenta o objetivo geral, bem como os objetivos específicos deste estudo.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as reações neurofisiológicas de indivíduos diante de um problema de tomada de decisão multicritério a partir da captura de dados oculares.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, alguns objetivos específicos foram formulados, sendo eles:

- a) Buscar na literatura um aparato teórico que fundamente os estudos comportamentais a partir de experimentos com o uso da neurociência em problemas de decisão multicritério;

- b) Pesquisar como a abordagem da neurociência serve como ferramenta de auxílio no desenvolvimento de estudos, pesquisas, experimentos e conseqüentemente suas contribuições associadas;
- c) Explorar a reação e os aspectos neurofisiológicos dos indivíduos a partir do uso das ferramentas de neurociência durante os processos decisórios;
- d) Avaliar o esforço cognitivo dos participantes ao longo das etapas de avaliação intracritério;
- e) Comparar o efeito do grau de conhecimento em decisão multicritério sobre a performance do decisor durante a avaliação intracritério;
- f) Realizar análises descritivas, estatísticas e comparativas entre o diâmetro da pupila e o tempo dispensado nas análises pelos participantes dos dois grupos distintos durante o processo decisório.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa dissertação é estruturada em seis capítulos, assim como pode ser visto adiante.

O Capítulo 1 introduz e descreve a ideia geral sobre a temática em questão, apresentando os principais pontos que serão tratados, bem como qual foi o cenário em que foi desenvolvido o experimento. Além disso, ainda neste capítulo é exposto os motivos que trouxeram a neurociência ao contexto de estudos em processos decisórios, como também apresenta uma breve descrição do problema, as justificativas e os objetivos desta pesquisa.

No Capítulo 2, tem-se o referencial teórico e revisão da literatura que revelam a base conceitual para esse estudo, as lacunas existentes e a posição deste frente aos demais trabalhos presentes na literatura. Este capítulo é dividido em 6 seções, sendo que a primeira aborda os problemas de decisão multicritério, na sequência é discorrido sobre o método FITradeoff e também o seu Sistema de Apoio à Decisão e adiante, foram reunidos os estudos com as ferramentas de neurociência que voltaram-se para emitir sugestões de melhorias ao SAD do FITradeoff. A quarta seção exhibe as principais ferramentas de neurociência utilizadas em estudos de investigação comportamental durante o processo decisório. Já a quinta seção adentra nesta mesma investigação, porém com o olhar para os processos decisórios que possuam múltiplos critérios e é nesta mesma seção que encontra-se os estudos que utilizam o

*Eye-tracking* para o rastreamento ocular em experimentos que envolvem a tomada de decisão multicritério. Por fim, a última seção trata dos estudos com as ferramentas de neurociência que são voltados para outras áreas, que não englobam a tomada de decisão multicritério.

Já no Capítulo 3, a metodologia desta dissertação é apresentada e para isto expõe-se a classificação metodológica e também as etapas da pesquisa.

O capítulo 4 é composto pela explicação detalhada do experimento que foi realizado para obtenção dos dados desta pesquisa. Este capítulo é dividido em 6 seções, sendo elas: (i) descrição do problema, (ii) seleção da amostra, (iii) equipamentos utilizados, (iv) aplicação do experimento, (v) processamento dos dados e (vi) análises dos dados.

No Capítulo 5 os resultados e as análises são descritos a partir dos testes estatísticos e análises descritivas realizadas.

Por fim, o Capítulo 6 é composto pela conclusão do estudo, bem como pelas limitações da pesquisa e sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo fornecerá a base teórica que foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, sendo também a sustentação técnica aos fundamentos da pesquisa. Em paralelo, este mesmo capítulo apresentará uma revisão sobre os estudos que se relacionam aos temas de decisão multicritério e uso de ferramentas da neurociência, levando em conta das principais referências sobre o tema em discussão.

### 2.1 PROBLEMAS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os problemas de Tomada de Decisão Multicritério (*Multi-Criteria Decision Making – MCDM*) são comuns na vida cotidiana (DA SILVA; COSTA; DE ALMEIDA, 2021). Esses problemas são caracterizados por tratarem de problemas que apresentam no mínimo, dois cursos de alternativas, na qual a escolha de uma delas visa atender a múltiplos objetivos (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). Ainda de acordo com De Almeida *et al.* (2015) rotineiramente as organizações tomam várias decisões, sendo que estas são realizadas com ou sem a utilização de algum método formal para apoiá-la/auxiliá-la.

Embora os problemas de decisão multicritério sejam vivenciados de forma costumeira perante a sociedade, ainda assim, estes podem ser considerados complexos aos que precisam o enfrentar, haja vista à presença de múltiplos objetivos, os quais na maioria das vezes, são conflitantes entre si. Neste sentido, a preocupação central desses problemas gira em torno das consequências que tais decisões podem ocasionar, principalmente no que diz respeito ao futuro da organização, pois após uma solução ser definida, as consequências que estão atreladas à escolha, podem ser desfavoráveis e de difícil reversão (ROSELLI, 2018; ROSELLI, 2020).

Variadas são as aplicações dos problemas de *MCDM* e situações diversificadas podem ser encontradas na literatura, a exemplo de: seleção de políticas de manutenção (WANG *et al.*, 2007; DE ALMEIDA *et al.*, 2015), seleção de equipamentos (AGHAJANI BAZZAZI; OSANLOO; KARIMI, 2011; LASHGARI *et al.*, 2012) seleção de fornecedores (DE ALMEIDA, 2007; CHAI *et al.*, 2013; RESENDE *et al.*, 2021), tomada de decisão na área da saúde (ADUNLIN *et al.*, 2015; FRAZÃO *et al.*, 2018), seleção de projetos de P&D (DE SOUZA *et al.*, 2021), alocação de terras rurais (GEBRE *et al.*, 2021) e seleção de locais (ZOLFANI *et al.*, 2013; DEMIREL *et al.*, 2017; REDISKE *et al.*, 2021, GUL; GUNERI, 2021).

Os modelos de decisão possuem características próprias por apresentarem etapas que são estruturadas, levando em conta os mais variados elementos que estão dispostos nas situações-problemas, bem como atentando para as preferências do indivíduo que ficará à cargo da decisão que será tomada. Ou seja, um modelo de decisão é peculiar e personalizado para um dado problema (DE ALMEIDA *et al.*, 2015).

Problemas de tomada de decisão multicritério podem envolver apenas um decisor e neste caso é considerada uma decisão individual, ou também contar com mais de um decisor, sendo então uma decisão em grupo (*MCGDM – Multicriteria Group Decision Making*). As decisões em grupo são inerentes àqueles problemas em que a decisão é tomada na presença de dois ou mais decisores e estes possuem a responsabilidade sobre a escolha que será feita (DE ALMEIDA, 2000).

Já com relação as decisões individuais, estas ficam incumbidas ao indivíduo que terá a responsabilidade de tomá-la e estes são chamados de decisores, ou tomadores de decisão e são elementos fundamentais dentro dos estudos de problemáticas de tomada de decisão multicritério (ROSELLI, 2020). O processo de estruturação do modelo, ou simplesmente modelagem, é conduzido com base nas preferências dos decisores sobre a problemática enfrentada.

Além do decisor, outros atores podem estar presentes no cenário de decisão. A identificação destas peças é importante e não se pode limitar apenas à sua identificação, mas sim a definição do papel que estes representam no processo decisório (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). Um ator que tem extrema importância neste cenário de decisão é o analista, haja vista que este indivíduo é quem apresenta o conhecimento sobre a abordagem de decisão multicritério e o seu papel é relativo a dispensar apoio sobre a metodologia aos decisores, durante o processo de modelagem do problema (ROSELLI, 2020).

De acordo com Box e Draper (1987) os modelos de decisão que foram/são criados para representar e solucionar os problemas de *MCDM* são imprecisos, pois todos são simplificações da realidade. Porém, ainda assim, esses modelos são úteis, pois é a partir deles que se torna possível a estruturação de situações problemáticas e conseqüentemente identifica-se a solução mais viável para os referidos casos.

Neste cenário, para que os casos de *MCDM* sejam estruturados, alguns modelos de decisão foram produzidos na busca de trazer uma representação formal para os problemas. Simon (1960) desenvolveu um dos primeiros modelos, que foi

composto por três etapas, sendo elas: inteligência, desenho e escolha. Além do modelo desenvolvido por Simon (1960), outros modelos de tomada de decisão para problemas multicritério também foram criados e estão presentes na literatura, tais como os modelos desenvolvidos por Roy (1996), Pomerol e Barba-Romero (2000), Belton e Stewart (2002) e De Almeida *et al.* (2015).

Os métodos de tomada de decisão multicritério são técnicas e abordagens que auxiliam na escolha entre alternativas considerando múltiplos critérios ou objetivos. Os métodos são aplicados em situações em que a decisão envolve considerações complexas e variadas, nas quais diferentes critérios devem ser ponderados e avaliados. Esses métodos são utilizados para construir os futuros modelos de decisão. A literatura abarca diversos métodos de apoio aos problemas de decisão multicritério e cada um deles é desenvolvido com base em uma estrutura axiomática ou metodológica distintas. Ainda, é possível verificar a classificação desses métodos (DE ALMEIDA *et al.*, 2015), que inclusive, de acordo com Roy (1996) se dividem em três grupos: Métodos de Critério Único de Síntese, Métodos de Sobreclassificação e Métodos Interativos. Além disso, De Almeida *et al.* (2015) afirma que os métodos ainda podem ser classificados entre os que possuem racionalidade compensatória e não compensatória. Os métodos compensatórios aceitam a existência da compensação para o decisor, deste modo, caso uma alternativa tenha um desempenho ruim em um determinado critério, esta pode ser compensada por um outro critério que tenha um bom desempenho.

Os Métodos de Critério Único de Síntese, são aqueles que com maior frequência utilizam a agregação aditiva nos problemas, sejam estes com avaliações de consequências determinísticas ou probabilísticas. Nos casos de problemas determinísticos, apresenta-se a Teoria do Valor Multi-Atributo (*Multi-Attribute Value Theory – MAVT*). Já em situações probabilísticas a Teoria da Utilidade Multi-Atributo (*Multi-Attribute Utility Theory – MAUT*) compreende a que possui maior representatividade (KEENEY; RAIFFA, 1976). Esses métodos são apropriados para os problemas em que o decisor apresenta a racionalidade compensatória para a solução do caso. Ou seja, o decisor é favorável no que diz respeito a compensação de uma avaliação negativa de uma alternativa em um determinado critério, pela avaliação positiva da mesma alternativa em outro critério. Deste modo, a partir disto observa-se a agregação das avaliações da mesma alternativa nos diversos critérios, encontrando um critério único de síntese (ROSELLI, 2020).

Já os Métodos de Sobreclassificação, estes são ideais para problemas que a racionalidade do tomador de decisão é não compensatória. São métodos que possui uma base fundida na superação, prevalência ou subordinação, os quais destacam-se a família de métodos *ELECTRE* (ROY, 1996) e a família de métodos *PROMETHEE* (VINCKE; BRANS, 1985).

Ainda, há os métodos classificados como interativos, que estão associados a problemas discretos ou contínuos. Os métodos de Programação Matemática, fazem parte desse grupo. No entanto, a interatividade já foi implementada nos dois tipos de métodos anteriormente descritos.

Dentre os tipos de métodos aqui discutidos, há a presença do método FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE ALMEIDA *et al.*, 2021) que foi originalmente desenvolvido por De Almeida *et al.* (2016) e atua com incorporações de informações parciais do decisor. Gusmão e Medeiros (2016) afirmam que o método FITradeoff é capaz de alcançar o melhor cenário do problema decisório em poucos ciclos, se comparado com o procedimento do *tradeoff* tradicional, permitindo assim a redução do esforço cognitivo exigido e o tempo dispensado no processo decisório.

A partir do que foi exposto, o método e o SAD do FITradeoff foram escolhidos para compor esta pesquisa, justamente pela sua flexibilidade, interação com o decisor, requisição de informações parciais, redução da exigência de carga cognitiva e diminuição do tempo para resolução do problema. Além disso, estudos comportamentais a partir de sua utilização estão presentes na literatura e esta pesquisa ajuda a avançar ainda mais nesta área.

A próxima seção aborda e discorre com mais detalhes o método FITradeoff e o seu sistema de apoio à decisão (SAD).

## 2.2 MÉTODO FITRADEOFF E SEU SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD)

Na intenção de auxiliar no processo decisório com uma abordagem estruturada, alguns métodos foram desenvolvidos e estão presentes na literatura (DA SILVA; COSTA, 2020). O FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE ALMEIDA *et al.*, 2021) é um deles e trata-se de um método com a mesma estrutura axiomática do *Tradeoff* (KEENEY; RAIFFA, 1976) no entanto com a incorporação de informações parciais. Além disso, o método FITradeoff requer apenas as informações parciais do decisor, que ao final do processo decisório, recebe o espaço de peso disponível que foi obtido.

De Almeida *et al.* (2016) corrobora esta informação, afirmando que uma das características essenciais do FITradeoff é a sua flexibilidade durante o processo decisório. Neste sentido, o decisor declara as suas preferências a partir de questões interativas. Enquanto o decisor realiza suas declarações de preferências no processo de elicitación - que inclusive pode ser suspenso tão logo seja encontrada a solução ótima ou quando o decisor não mais quiser fornecer novas informações – o sistema de apoio à decisão (SAD) avalia de forma sistêmica as alternativas potencialmente ótimas, ou *potentially great alternatives* do inglês (POA), com base em Problemas de Programação Linear (PPL).

O método FITradeoff trata-se de uma técnica para a resolução de problemas de decisão multicritério em modelos no âmbito da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT). É um método que trabalha com base em informações parciais sobre as preferências do decisor, possibilitando uma menor exigência cognitiva por parte do tomador de decisão, como também possibilitando a redução de tempo e esforço dispendido no processo de modelagem das preferências.

Em sua gênese, o método FITradeoff foi elaborado para tratar de problemas de escolha e consistia resumidamente em três etapas (KANG; SOARES JR; DE ALMEIDA, 2018), sendo elas: (i) avaliação intracritério, (ii) ordenação dos pesos dos critérios e (iii) elicitación flexível das preferências do decisor com base em duas alternativas hipotéticas.

No método FITradeoff, após realizar as avaliações intra e intercritério de preferência, o objetivo é calcular a função valor global para cada uma das alternativas, onde  $v(ai)$  representa o valor global da alternativa  $(ai)$ ,  $(k_j)$  representa a constante de escala, que também pode ser chamada de peso do critério  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) e  $vi(Xij)$  é o valor da consequência  $Xij$ , que consiste na alternativa  $(ai)$  no critério  $j$ , medida em uma escala de 0 à 1, de acordo com a função de valor marginal do critério  $j$ . A equação 1 apresenta tudo o que foi discorrido até aqui.

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) \quad (1)$$

Neste cenário,  $k_j$  se refere a constante de escala do critério  $j$  normalizado conforme a Equação 2:

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

Na elicitação por decomposição, de forma inicial o decisor ordena os critérios de acordo com suas preferências. Esta etapa conduz a um ranqueamento dos critérios e fornece uma inequação, conforme pode-se verificar na Equação 3:

$$k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_n \quad (3)$$

Em seguida, o procedimento continua com os decisores respondendo à perguntas, que também são chamadas de *tradeoffs* entre critérios. Duas consequências são colocadas para o decisor: Consequência A, com pior resultado para todos os critérios e resultado intermediário para o critério  $j$  e Consequência B, com pior resultado para todos os critérios e melhor resultado para o critério  $j+1$ .

$$k_j v(x_j') > k_{j+1} \quad (4)$$

$$k_j v(x_j'') < k_{j+1} \quad (5)$$

As desigualdades nas equações 3, 4 e 5, juntamente com a equação 2, formam o chamado espaço de pesos, ou seja, o conjunto de vetores de pesos compatíveis com as preferências do tomador de decisão.

Adentrando na formulação matemática para a problemática de escolha, o método FITradeoff funciona baseado na redução progressiva do conjunto de Alternativas Potencialmente Ótimas (POA). Ou seja, uma alternativa é considerada potencialmente ótima se puder ser a alternativa ótima do problema, considerando o espaço real de pesos (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Nesse sentido, para que uma alternativa seja considerada potencialmente ótima, a desigualdade na Equação 6 deve ser válida.

$$\sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{zj}) \quad (6)$$

Nesse contexto, o método do FITradeoff para a problemática de escolha, busca encontrar a melhor alternativa, dentre todas as alternativas para formar o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas. Em cada fase de interação, o seguinte modelo LP é executado conforme a Equação 7.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } v(a_i) &= \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) & (7) \\
 \text{s. t. } & k_1 > k_2 > \dots > k_j > k_{j+1} > \dots > k_m \\
 & \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{zj}), \text{ for all } z = 1, \dots, n; z \neq j. \\
 & k_j v(x_j') \geq k_{j+1} + \varepsilon \\
 & k_j v(x_j'') \leq k_{j+1} + \varepsilon \\
 & \sum_{j=1}^m k_j = 1
 \end{aligned}$$

Neste sentido, ressalta-se que cada vez que cada vez que o decisor fornece uma nova informação de preferência, o espaço dos pesos é atualizado conforme essas novas desigualdades (Equações 4 e 5) que são incorporadas aos modelos LP, que voltam a buscar um subconjunto atualizado de alternativas potencialmente ótimas. Assim sendo, as etapas de interação seguem até que se encontre uma única alternativa potencialmente ótima ou até o decisor sentir-se satisfeito com o conjunto real de POA encontradas.

Além da problemática de escolha, algumas abordagens já foram desenvolvidas para o método FITradeoff, como a problemática de ordenação (FREJ *et al.* 2019), a problemática de classificação (KANG; FREJ; DE ALMEIDA, 2020) e a problemática de portfólio (FREJ; EKEL; DE ALMEIDA, 2021).

Algumas aplicações de utilização do Método FITradeoff estão dispostas na literatura, a exemplo de Monte e Morais (2019) que a partir do FITradeoff discutiram questões ambientais relacionadas ao abastecimento de água. Já Frej e De Almeida (2016) aplicaram o método para conseguir obter recomendações sobre a seleção de fornecedores de uma indústria de alimentos. Adiante, Dell'Ovo *et al.*, (2017) verificou qual a melhor sugestão de localização de estabelecimentos de saúde e Fossile *et al.*, (2020) buscou resolver um problema de seleção de fontes de energia, com o objetivo de identificar a melhor energia renovável para investimento no Brasil.

O SAD do FITradeoff está alocado e é disponibilizado mediante solicitação em <<http://cdsid.org.br/fitradeoff/>>, onde o acesso é liberado para as problemáticas de escolha, classificação, portfólio e ordenação.

A partir do que foi exposto, é possível perceber que o método e o SAD do FITradeoff permite apoiar, auxiliar e solucionar diversos problemas de decisão multicritério, cumulado com a diminuição do esforço cognitivo dos decisores. Além disso, o método teve um avanço significativo nos últimos anos, como também já foi

objeto de diversas aplicações e estudos para melhoramento de sua interface e metodologia. A próxima seção apresenta as principais ferramentas de neurociência utilizadas para avaliação dos aspectos neurofisiológicos de decisores durante o processo decisório.

### **2.2.1 Estudos com as ferramentas de neurociência para melhorar o SAD do FITradeoff**

Os trabalhos sobre o melhoramento do SAD FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021) que tem como foco a resolução de problemas *MCDM* estão presentes na literatura. Alguns desses estudos foram desenvolvidos desde a criação do SAD do FITradeoff e aqui será debatido os mais relevantes para esta pesquisa.

Inicialmente, De Almeida e Roselli (2017) realizaram um experimento com a utilização de rastreamento ocular para avaliar, através da neurociência cognitiva, a visualização gráfica fornecida no processo de análise das Possíveis Alternativas Ótimas (*POA*) emitidas do SAD do FITradeoff durante o processo de elicitação. Adiante, Roselli, De Almeida e Frej (2019) realizaram um experimento com alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção, utilizando rastreamento ocular. O objetivo do trabalho foi melhorar o SAD do FITradeoff a partir do comportamento dos participantes quando estes lidavam com problemas de decisão que apresentam apenas informações em forma de gráficos.

Ainda com o objetivo de recomendar melhorias ao SAD do FITradeoff, Da Silva e Costa (2020) realizaram um experimento com 17 alunos, utilizando *Eye-tracking* e EEG para verificar como o engajamento e carga cognitiva são dispensadas no processo de elicitação das preferências com o uso do FITradeoff em diferentes problemas de tomada de decisão multicritério. Em sequência, De Almeida e Roselli (2020) também utilizaram o *Eye-tracking* e o EEG para investigar os padrões de comportamento dos decisores quando eles estavam realizando o processo de avaliação holística baseado na visualização construída com apenas duas alternativas do SAD do FITradeoff. O principal objetivo da pesquisa foi aprimorar o Sistema de Apoio à Decisão FITradeoff, especialmente para o problema de ordem de classificação. Os achados do estudo propõem ao SAD o Diagrama Alfa-Teta, onde permite a identificação de cinco padrões de comportamento dos decisores.

Os pesquisadores ainda realizaram um novo trabalho, com o intuito de melhorar o SAD do FITradeoff, no qual os participantes resolveram problemas de tomada de decisão multicritério criados por eles próprios, enquanto duas ferramentas de neurociência (*Eye-tracking* e EEG) rastreavam as variáveis fisiológicas deles (DA SILVA; COSTA; DE ALMEIDA, 2022). Alguns outros trabalhos ainda foram realizados, com o apoio das ferramentas neurocientíficas (*Eye-tracking* e EEG) com foco em melhorar o SAD do FITradeoff (DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021; DA SILVA; COSTA; DE ALMEIDA, 2022; ROSELLI; DE ALMEIDA, 2023).

Além das investigações comportamentais voltadas para o melhoramento do FITradeoff, a literatura também possui estudos que se voltaram a investigar as reações neurofisiológicas dos indivíduos em diversos outros processos decisórios, com os mais variados métodos, sistemas e ferramentas. Neste sentido, a seção adiante irá tratar das principais ferramentas utilizadas nesses estudos.

### 2.3 AS PRINCIPAIS FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA USADAS NAS INVESTIGAÇÕES COMPORTAMENTAIS DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

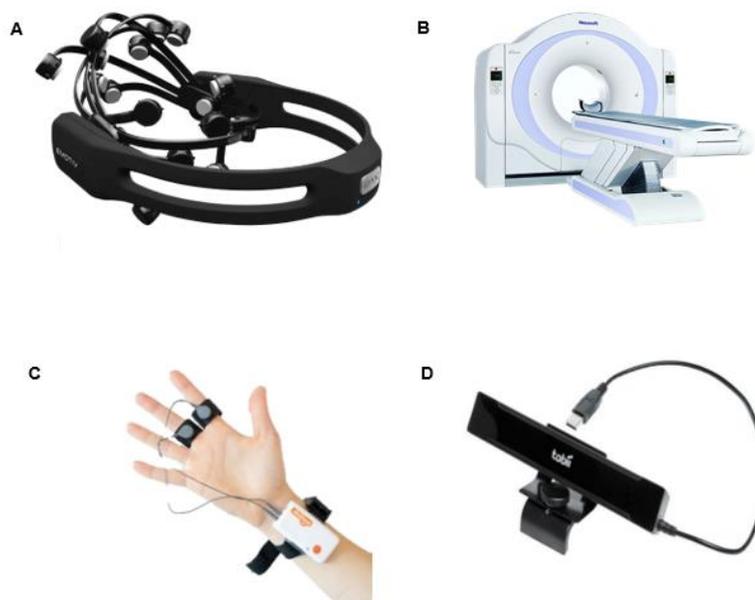
Compreender o comportamento humano não é uma tarefa fácil. Atualmente, as ferramentas de neurociência são capazes de entregar dados com essas variáveis neurofisiológicas. Essas entregas são importantes, pois permite aos pesquisadores entender determinados comportamentos, bem como entender as respostas cerebrais a determinados impulsos, como por exemplo o da tomada de decisão. Com todo este avanço tecnológico, foi possível à comunidade acadêmica científica pesquisar e empregar as medidas neurofisiológicas para investigar o comportamento humano em situações reais e cotidianas (CHERUBINO *et al.*, 2019).

O estudo da neurociência em decisão é uma área que permite entender os mecanismos cognitivos do corpo humano (EAGLEMAN, 2015) a partir da utilização de ferramentas neurocientíficas (SMITH; HUETTEL, 2010). Neste contexto, as ferramentas que capturam as medidas neurofisiológicas são os pilares para os estudos em neurociência (BELL *et al.*, 2018; DIMOKA *et al.*, 2012), onde exibem a sua importância e potencial, auxiliando na captura dos dados ligados diretamente ao ser humano.

Neste sentido, Dimoka *et al.* (2012) e Bell *et al.* (2018) expuseram as ferramentas neurofisiológicas mais comuns usadas nas pesquisas, sendo elas:

Ressonância Magnética (*fMRI*), Eletroencefalograma (EEG), Rastreamento Ocular (*Eye-tracking*) e Resposta Galvânica da Pele (*GSR*) também conhecido por *Skin Conductance Response (SCR)*. Todos estes equipamentos podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Ferramentas de Neurociência. (A): Eletroencefalograma; (B): Tubo de Ressonância Magnética; (C): Sensor para medir respostas galvânicas da pele; (D): *Eye-tracking*



Fonte: (A): EMOTIV (2023); (B): NeuSoft (2023); (C): iMotions (2023); (D): Tobii (2022).

O equipamento de imagem por ressonância magnética funcional (*fMRI*) atua de forma não invasiva e faz uso de ondas de rádio e de campos magnéticos para medir a atividade neural do cérebro do ser humano. O principal objetivo desta ferramenta consiste em capturar os sinais e suas respectivas variações do nível de oxigênio do sangue durante o experimento. Segundo Smidts *et al.* (2014) esta era até recentemente a ferramenta e técnica neurofisiológica mais utilizada nos estudos de neurociência do consumidor.

Já o eletroencefalograma (EEG) também se trata de uma técnica considerada econômica e não invasiva que permite a captura das variações das ondas cerebrais, cujas dimensões relacionam-se com os tipos de estado mental, como o relaxamento, sono, etc. (MÜLLERPUTZ; RIEDL; WRIESSNEGGER, 2015). Este apetrecho utiliza-se de eletrodos que são aplicados ao couro cabeludo do usuário para medir as alterações na atividade elétrica do seu cérebro. Com o EEG é possível registrar as

variações das ondas cerebrais, nas quais suas dimensões correspondem a determinados estados mentais, como por exemplo: estado de sono, estado de vigília, estados de relaxamento, entre outros (MÜLLERPUTZ; RIEDL; WRIESSNEGGER, 2015).

Adiante, o equipamento de rastreamento ocular, ou *Eye-tracking* em inglês, é uma ferramenta composta de sensores especializados para alcançar os padrões de luz infravermelha que são refletidas pela córnea durante os movimentos dos olhos (SIROIS; BRISSON, 2014). Este instrumento volta-se para o registro da movimentação ocular, bem como as alterações no diâmetro da pupila (BELL *et al.*, 2018). Roselli (2020) destaca que esta ferramenta possui grande precisão para medir as movimentações realizadas pelos olhos nas telas. Ressalta-se que este estudo utilizará o *Eye-tracking* para capturar os dados neurofisiológicas dos participantes.

De acordo com Medeiros (2022) a pupila consegue fornecer informações sobre o processo cognitivo e emocional. Além disso, o diâmetro da pupila possui relação direta com o nível de esforço cognitivo dispensado por um indivíduo para realizar determinada atividade (GOLDWATER, 1972; MEDEIROS, 2022). Isto acontece a partir dos diferentes circuitos neurais que se conectam com o processamento das informações visuomotoras (KELLER *et al.*, 2012). Portanto, medir o comportamento ocular, é uma forma de avaliar o nível de alteração e processamento da informação diretamente do indivíduo (ETTINGER; KLEIN, 2016).

Ainda, vale destacar a diversidade de métricas estatísticas que o *software* que o *Eye-tracking* está inserido – Tobii Studio - consegue fornecer ao analista, a exemplo dos mapas de calor, duração da movimentação ocular, áreas que o indivíduo olhou, duração da fixação, dentre outros. O Tobii Studio possibilita a extração de diversas métricas, como exemplo: *Time to First Fixation* (Tempo de primeira fixação), *Fixation Duration* (Duração da Fixação), *Visit Duration* (Duração da Visita), dentre outros. Além disso, o *software* ainda consegue fornecer métricas estatísticas, a exemplo da Contagem (*N*), Soma (*Sum*), Média (*Mean*), Mediana (*Median*), dentre outros.

Por fim, o Equipamento de Resposta Galvânica da Pele (GSR) caracteriza-se pela monitorização da resposta galvânica da pele do indivíduo através de eletrodos que são fixados em determinada zona corporal, como a exemplo das mãos e pulsos. Como o sistema nervoso central liga-se diretamente com a quantidade de suor gerada nessas áreas do corpo, é possível através desta ferramenta medir e realizar a identificação das respostas neurais que antecederem determinadas sensações, como a exemplo da alegria, medo e raiva (BANKS *et al.*, 2012).

De forma sumária, o Quadro 1 descreve as principais ações e informações adquiridas a partir do uso desses principais equipamentos da neurociência.

Quadro 1 - Principais ações e informações obtidas por equipamentos de neurociência

<b>Equipamento</b>	<b>Ações e Informações</b>
Ressonância Magnética ( <i>fMRI</i> )	Fornecer imagens que trabalham utilizando ondas de rádio e de campos magnéticos para medir a atividade neural do cérebro humano, por meio do nível de oxigênio no sangue durante o período em que acontece o experimento (MEDEIROS, 2022).
Eletroencefalograma (EEG)	Realiza as medições das alterações que acontecem na atividade elétrica do cérebro do referido participante com resolução temporal de milissegundos (DONG <i>et al.</i> , 2018), através de eletrodos aplicados no couro cabeludo do usuário.
Rastreamento Ocular ( <i>Eye-tracking</i> )	Capta as alterações no diâmetro da pupila a partir da movimentação ocular (BELL <i>et al.</i> , 2018). Trata-se de uma tecnologia avançada que consegue fazer as referidas medições, bem como permite a observação e a localização exata do que está estimulando a atenção do indivíduo.
Resposta Galvânica da Pele (GSR) ou <i>Skin Conductance Response (SCR)</i>	Utiliza eletrodos que são fixados em determinadas áreas do corpo (mãos e pulsos) e medem a condutância da pele e a excitação do sistema nervoso frente aos estímulos a partir das glândulas

	sudoríparas (MAÑAS-VINIEGRA; NÚÑEZ-GÓMEZ; TUR-VIÑES, 2020).
--	---

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Conforme exposto no Quadro 01, as principais ferramentas da neurociência resumem-se a quatro equipamentos. Dentre estes equipamentos, de forma inicial, Heekeren *et al.* (2003) utilizaram o *fMRI* para investigar quais áreas do cérebro são ativadas durante a tomada de decisão ética. Ainda com o uso do equipamento de ressonância magnética, Zysset *et al.* (2006) em um estudo inicial, implementaram uma tomada de decisão em que os participantes precisavam optar entre duas alternativas que estavam atreladas a cinco atributos.

Além dos estudos que utilizaram a ressonância magnética para investigar as reações neurofisiológicas, a literatura também destaca àqueles em que os dados neurofisiológicos foram oriundos do rastreamento ocular, capturados com o auxílio do *Eye-tracking*. Neste sentido, Peshkovskaya *et al.* (2017) afirmam que os estudos com rastreamento ocular conseguem expor com maestria os aspectos neurofisiológicos atrelados ao processo decisório. Portanto, de forma pioneira, os primeiros estudos sobre a medida do diâmetro da pupila (pupilometria) foram realizados por: Hess e Polt (1964) e Kahneman e Beatty (1966).

Neste cenário, Graham e Jeffery (2012) monitoraram alguns adultos visualizando sessenta e quatro itens alimentares em um computador, com a utilização do *Eye-tracking*, à fim de entender o comportamento de compra enquanto estes tomavam suas decisões. Adiante, Gidlöf *et al.* (2017) averiguaram com o apoio do equipamento de rastreamento ocular móvel, o comportamento da visão dos consumidores para avaliar os fatores externos e internos dos participantes no contexto de aquisição de produtos em um supermercado. Shi, Wedel e Pieters (2013) propuseram um modelo de rastreamento ocular para entender os possíveis padrões, que são comuns em ambientes de escolha *online*, como exemplo os *sites* de comparação.

Com o passar dos anos, Aimone, Ball e King-Casas (2016) examinaram o processo de tomada de decisão quando os indivíduos escolhiam entre alternativas arriscadas, através da captação dos movimentos oculares com o apoio do *Eye-tracking*. Peshkovskaya *et al.* (2017) utilizaram o rastreamento ocular, para analisar

as reações neurofisiológicas dos participantes, enquanto estes estavam inseridos no jogo Dilema do Prisioneiro.

Além disso, outra ferramenta que também é utilizada nos estudos dos aspectos neurofisiológicos é o eletroencefalograma. De acordo com Ariely e Berns (2010) as ferramentas de imagens neurais são popularmente utilizadas nas pesquisas, principalmente pela rapidez e redução dos custos. Porém, a grande parte dos estudos que utilizaram o eletroencefalograma, o faz com a junção de outra ferramenta da neurociência. A explicação para isso é que o EEG é altamente sensível à movimentos, ruídos, barulhos ou quaisquer alterações do ambiente. Nestes casos, é que a união do EEG com outra ferramenta da neurociência para estudos comportamentais torna-se viável, a exemplo do *Eye-tracking*.

Neste sentido, Khushaba *et al.* (2013) realizaram um experimento com o uso do EEG e do *Eye-tracking* juntos, na qual os participantes precisavam escolher os biscoitos de acordo com as características, que poderia ser a forma (redondo, quadrado e triangular), o sabor (trigo, planície e canteio escuro) e a cobertura (papoula, sal e sem cobertura). Slanzi *et al.* (2016) também realizaram um estudo utilizando o EEG e o *Eye-tracking* à fim de avaliar os cliques em um *website*. Com o *Eye-tracking*, os autores coletaram informações sobre o diâmetro da pupila e com o EEG verificaram os níveis de esforço mental dispensado.

Deste modo, é possível perceber que vários equipamentos de neurociência conseguem coletar as variáveis neurofisiológicas do corpo e apresentam importantes linhas sobre o comportamento humano. Ressalta-se que são vários os laboratórios que vem utilizando ferramentas de neurociência como o EEG, *Eye-tracking* e *fMRI* para investigar estudos na área de decisão multicritério. No entanto, ainda existe uma lacuna na literatura no que diz respeito aos estudos sobre a neurociência levada para o âmbito da tomada de decisão multicritério (ROSELLI; FREJ; DE ALMEIDA, 2018).

Assim sendo, percebe-se que a importância e vantagens das ferramentas de neurociência para estudos de problemas de tomada de decisão é notória, haja vista a gerência dos dados que são capturados durante o experimento e que não são passíveis de se ter sem o auxílio dessas ferramentas. Deste modo, é possível afirmar que a partir desse cenário, os experimentos e estudos são mais confiáveis e também não contém vieses (GÊ, 2022).

A seção seguinte aborda os trabalhos presentes na literatura que buscaram investigar por meio das ferramentas neurocientíficas, a reação comportamental e neurofisiológica dos decisores diante de problemas decisórios com múltiplos critérios.

#### 2.4 A NEUROCIÊNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO À INVESTIGAÇÃO COMPORTAMENTAL DOS DECISORES DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

O processo decisório é algo comum no cotidiano das pessoas e organizações e trata-se de uma temática que vem sendo investigada em diversas áreas do conhecimento, como exemplo: economia, psicologia e marketing (SANFEY *et al.*, 2006; WEBER *et al.*, 2007). Os problemas decisórios, principalmente aqueles com múltiplos critérios, envolvem e requerem uma alta carga cognitiva dos decisores. Neste cenário, estudos que englobam a abordagem da neurociência para entender o sistema nervoso, em especial com o cérebro, vêm sendo desenvolvida em conjunto com várias áreas do conhecimento, sendo deste modo considerada multidisciplinar (SMITH; HUETTEL, 2010; ZHAO *et al.*, 2016).

A área da neurociência voltada para estudos de investigação do comportamento neurofisiológico dos decisores no processo decisório é representada por grandes avanços tecnológicos. Neste sentido, Franco-Watkins e Johnson (2011) retratam a importância dada pelos pesquisadores no que tange a enxergar as complexidades atreladas aos problemas de tomada de decisão, que inclusive vem ganhando cada vez mais força e atenção.

Desta forma, Lee e Chamberlain (2007) conceituam a neurociência cognitiva como um campo dedicado a explorar os processos dentro do cérebro que fundamentam e influenciam as decisões, comportamentos e interações humanas. É neste enredo que Zelinkova *et al.* (2011) forneceram uma visão geral dos estudos mais significativos à fim de identificar as estruturas do cérebro humano envolvidas nos processos motivacionais e de tomada de decisão. Ademais, Glimcher e Rustichini (2004) desenvolveram uma revisão bibliográfica para situar o referido tema.

Para tanto, alguns estudos buscaram investigar as reações neurofisiológicas dos humanos durante o processo decisório, com as mais variadas ferramentas da neurociência. Inicialmente, Bechara *et al.* (1999) observaram as contribuições da amígdala humana e o córtex pré-frontal ventromedial para a tomada de decisão. Através de um jogo, os autores captaram o desempenho da tomada de decisão e a

atividade eletrodérmica (resposta de condutância da pele) dos participantes. Os resultados do estudo sugeriram que o dano na amígdala está relacionado ao prejuízo na tomada de decisão e que os papéis desempenhados pela amígdala e do córtex pré-frontal ventromedial do cérebro na tomada de decisão são diferentes.

Na mesma linha de avaliação cerebral durante o processo decisório, Sanfey *et al.* (2003), investigaram as reações neurofisiológicas dos decisores enquanto estes jogavam o *Ultimatum Game* com o auxílio do equipamento de ressonância magnética (*fMRI*). Com as imagens que eram coletadas pelo *fMRI*, os autores observaram as áreas do cérebro que estavam ligadas ao sentimento de justiça e injustiça durante a partida. Além deste, Hunt *et al.* (2014) expuseram no seu estudo sobre o processo de escolha e como este processo acontecia no cérebro. Os achados deste trabalho mostraram que o cérebro atua com um comportamento de competição entre os múltiplos atributos durante as fases do processo de tomada de decisão. Ainda neste sentido de interação entre o corpo e o cérebro, Eagleman (2015) coloca à tona os *feedbacks* transmitidos pelas variáveis fisiológicas do corpo humano.

Ainda com a utilização da ressonância magnética, Goucher-Lambert, Moss e Cagan (2017) investigaram os processos neurais presentes nos julgamentos das preferências dos tomadores de decisão quando estes demonstravam seus julgamentos de preferências (sustentáveis) com relação a produtos com vários atributos. Ainda no cenário de estudos que avaliam a atividade cerebral, mais recentemente, Xu *et al.* (2020) investigaram o processo de tomada de decisão e o resultado (prêmio), ou seja, o quanto um indivíduo estava disposto a pagar por um determinado produto usando um procedimento de Becker-DeGroot-Marschak e medidas de atividades cerebrais, a partir da utilização do EEG.

Já no contexto de pesquisas que uniram a utilização de mais de uma ferramenta da neurociência, Nermend (2017) realizou um estudo com alguns participantes, no qual eles selecionavam os produtos de acordo com as próprias preferências. Enquanto o processo de tomada de decisão acontecia, o autor registrava os dados neurofisiológicos por meio de eletroencefalograma (EEG), medição da resposta galvânica da pele (*GSR*) e da frequência cardíaca (*FC*), rastreamento na *web* e rastreamento ocular. Com isso, o estudo verificou a velocidade com que os participantes atingiram à fadiga no decorrer do processo de tomada de decisão.

Recentemente, Hamelin *et al.* (2022) utilizaram a análise de detecção facial e rastreamento ocular para medir a reação dos participantes, quando estes foram

expostos a 14 anúncios imobiliários. As variáveis neurofisiológicas forneceram informações relevantes com relação à eficiência do *design* do anúncio. A análise envoltório de dados, - em inglês *data envelopment analysis (DEA)* - foi utilizada para processar a atenção, engajamento e alegria provocada pelos anúncios exibidos.

#### **2.4.1 Estudo dos movimentos oculares em experimentos de decisão**

Como dito, os estudos que tratam dos movimentos oculares permitem a extração de *insights* valiosos a respeito dos processos cognitivos. De acordo com Carrasco (2011) a atenção visual é um processo de seleção que os possibilita priorizar as informações visuais relevantes de uma atividade. É neste sentido que as características dos movimentos oculares conseguem transmitir informações dos processos cognitivos (MARANDI; SABZPUSHAN, 2015).

Variados estudos envolvendo o rastreamento do movimento ocular estão presentes na literatura quando voltados para processos decisórios, dentre as mais variadas áreas de aplicação. Neste contexto, Barbosa *et al.* (2021) investigaram o posicionamento do *design* na embalagem de pizzas congeladas e como isto influencia no nível de atenção empregados pelos consumidores. Este experimento contou com 98 participantes que foram submetidos a verificarem diferentes combinações dos elementos distribuídos na embalagem, com o intuito de deliberar qual das posições possui mais atenção dos indivíduos. A pesquisa contou com o apoio do *Eye-tracking* para capturar o rastreamento ocular dos voluntários.

Já em outra área de aplicação, Slanzi *et al.* (2016) analisaram a partir do experimento aplicado, como que se dava o comportamento dos indivíduos enquanto usavam um *site*. A intenção da pesquisa foi realizar uma análise neurofisiológica das intenções de cliques cumulada com os dados das pupilas dos usuários. Neste estudo, foi utilizado o EEG em conjunto com o *Eye-tracking* para coletar os dados de 21 participantes. Os resultados expuseram que há uma diferença estatística nas dilatações da pupila quando o clique do mouse era executado, evidenciando assim uma escolha, quando comparadas com o estado da pupila no momento em que não existiam os cliques do mouse. Ou seja, a partir deste trabalho, foi possível inferir que a pupila aumentava quando um clique era executado, sinalizando uma decisão tomada e evidenciando a maior carga cognitiva para que esta fosse tomada, quando comparada com o estado em que não existiam os cliques de mouse.

Ainda, há os estudos que buscaram verificar o comportamento dos participantes ao escolher itens em um supermercado diante de uma situação de pressão de tempo. Neste caso, o rastreamento ocular foi realizado e a intenção do estudo foi averiguar se o processo de escolha dos itens está atrelado aos efeitos de exibição, ou seja, se a localização do item interfere na probabilidade de escolha (REUTSKAJA *et al.*, 2011). Neste mesmo sentido, Sütterlin, Brunner e Opwis (2008) avaliaram se os efeitos da posição dos itens interferem na atenção dos indivíduos. Com a pesquisa, os autores conseguiram demonstrar que os itens que ficam posicionados no topo das listas conseguem ter mais atenção do que àqueles que ficam na parte inferior.

Como visto, todos esses trabalhos tratam de decisões, mas nenhum deles aborda as questões de decisão multicritério. Neste sentido, se buscou também na literatura os trabalhos que trataram da tomada de decisão multicritério e o estudo dos movimentos oculares. Embora esses estudos sejam poucos, ainda assim são úteis para se averiguar os aspectos neurofisiológicos dos decisores diante de problemas *MCDM*.

Dito isto, Gonçalves *et al.* (2019) avaliaram o esforço cognitivo dos decisores quando utilizavam o PROMETHEE-GAIA, especificamente na análise de sensibilidade disponibilizada pelo SAD que este método encontra-se inserido. Esta análise pupilométrica foi realizada com o objetivo de investigar o grau de dificuldade para entender as visualizações fornecidas pelo SAD e como melhorias de interação poderiam ser propostas para apoiar o processo decisório. O experimento contou com 18 participantes e com a utilização do *Eye-tracking* para capturar os dados neurofisiológicos.

Ainda envolvendo estudos com tomada de decisão multicritério, Krejtz *et al.* (2020) analisaram a resposta pupilar e microssacádicas no processamento da informação de 21 estudantes. Este experimento capturou os dados dos movimentos oculares a partir do rastreador de olhos, o *SR Research EyeLink 1000*. A partir dos resultados, foi visto a inibição da taxa microssacádica e também a dilatação da pupila a partir do esforço cognitivo.

Além desses trabalhos, outros que utilizam o rastreamento ocular para buscarem as avaliações neurofisiológicas dos decisores diante de problemas de tomada de decisão serão discutidos na seção seguinte. Portanto, percebe-se uma

pequena parcela de estudos que usam o rastreamento ocular para averiguar as reações neurofisiológicas dos decisores diante de problemas de *MCDM*.

## 2.5 A NEUROCIÊNCIA VOLTADA PARA ANÁLISES COMPORTAMENTAIS DURANTE A TOMADA DE DECISÃO APLICADA EM OUTRAS ÁREAS

As ferramentas de neurociência possuem uma popularidade e são utilizadas nos mais variados estudos. Dentre estes, existem aqueles trabalhos que utilizaram das ferramentas neurocientíficas no contexto decisório, mas que não estavam atrelados à problemas de multicritério. Para tanto, estes foram reunidos nesta seção, à fim de evidenciar a pluralidade e potencialidade das ferramentas de neurociência nos estudos de tomada de decisão, ainda que estes não tenham o cunho dos problemas de *MCDM*.

Neste sentido, Ariely e Berns (2010) expuseram que a popularidade da utilização de ferramentas de neuroimagem nas pesquisas de marketing acontece pelo fato da rapidez e redução de custos que essas máquinas entregam. Atrelada a isto, existe o fato de que a neurociência fornece informações que métodos convencionais de estudos de marketing não conseguem entregar. Ademais, também é plausível demonstrar que os métodos tradicionais de marketing, apenas consideram o *feedback* posterior ao momento da compra (tomada de decisão), normalmente na forma de questionários, avaliações ou comentários, no entanto essas maneiras não conseguem exibir as variáveis neurofisiológicas do decisor em tempo real, o que é possível com as ferramentas neurocientíficas (KHURANA *et al.*, 2021).

Recentemente, Bazzani *et al.* (2020) e Khurana *et al.* (2021) examinaram uma gama de estudos que consideravam as estratégias de Neuromarketing e que conjuntamente utilizavam o EEG para coletar informações neurofisiológicas para traçar e descrever como isto afeta o consumidor. Com este pensamento, e em se tratando da utilização de ferramentas de imagem cerebral para pesquisas de Neuromarketing, Vecchiato *et al.* (2011), Cherubino *et al.* (2019), Alvino *et al.* (2020) e Alsharif *et al.* (2021) desenvolveram estudos abordando uma visão geral de dessas pesquisas, porém incorporando outras ferramentas que também são comuns na neurociência, tais como: rastreamento ocular (*Eye-tracking*), ressonância magnética (*fMRI*) e magnetoencefalograma (*MEG*).

Neste cenário, a pesquisa de Venkatraman *et al.* (2012) realizou uma aplicação no gerenciamento de uma marca, à fim de expor que a neurociência pode fornecer

novas formas de estabelecer mapeamentos dos processos cognitivos e dados de marketing tradicionais. Nesta mesma linha, Guixeres *et al.* (2017) realizou uma investigação utilizando o *Eye-tracking* para verificar se a eficácia de oito campanhas publicitárias transmitidas no *YouTube* poderia ser captada a partir de redes neurais e métricas baseadas na neurociência.

Indo mais afundo e adentrando em estudos que utilizaram outras ferramentas da neurociência nestes tipos de pesquisas, Golnar-Nik, Farashi e Safari (2019) utilizaram os dados captados pelo EEG para encontrar as regiões cerebrais mais importantes na distinção entre as preferências e prever a incidência da tomada de decisão quando os participantes eram submetidos a verem propagandas de diferentes marcas de celulares, que diferiam no que tange ao conteúdo. Yadava *et al.* (2017) projetaram um estudo com a utilização de modelagem preditiva para compreender a tomada de decisão do consumidor com relação a escolha de produtos do comércio de eletrônicos através da análise de sinais de um EEG. Ainda com o uso do EEG, alguns estudos utilizaram os dados extraídos da ferramenta para elaborar e/ou traçar suas estratégias de marketing (IZAGUIRRE-TORRES *et al.*, 2020; YAZID *et al.*, 2020).

Portanto, a partir deste levantamento realizado com base no que há de disponível na literatura, como também seguindo o que já foi observado por Alvino *et al.* (2020) é possível afirmar que as ferramentas de eletroencefalograma e rastreamento ocular são as mais utilizadas nas pesquisas de neuromarketing. Também pode-se afirmar que tais ferramentas são mais utilizadas dentro da perspectiva de investigação das preferências e análise comportamental dos consumidores em diferentes áreas, como publicidade, experiência do consumidor, branding, desenvolvimento de produtos, dentre outros.

Além da área que trata de questões voltadas para o marketing, a neurociência também se insere no contexto da tomada de decisão dos consumidores no ato de escolha e compra de produtos. Essa abordagem é conhecida como Neurociência do Consumidor, ou *Consumer Neuroscience* do inglês, e já possui um grande avanço na literatura.

Bouzakraoui, Sadiq e Enneya (2016) afirmam que as condições emocionais estão sempre presentes e influenciam a tomada de decisão no processo de compra. A neurociência do consumidor contribui para uma compreensão sistemática do comportamento do consumidor e do processo de tomada de decisão (ALVINO, 2019). Neste arrimo, os estudos dos comportamentos dos consumidores, passaram a incluir

ferramentas e métodos de neurociência, visando melhorar a compreensão sobre a formação da escolha e da preferência (RAMSOY; MICHAEL; MICHAEL, 2019).

Sendo assim, a partir do auxílio do EEG, Raiesdana e Mousakhani (2022) propuseram um experimento no qual os participantes visualizaram imagens de automóveis e suas especificações, à fim de avaliar a preferência do consumidor do ponto de vista da neurociência. Além disso, Alvino, Constantinides e Van der Lubbe (2021) por meio de um eletroencefalograma, investigaram se o *design* de diferentes rótulos de vinhos influenciava as preferências individuais dos participantes. Além disso, Yazid *et al.* (2020) com o uso do aparelho de eletroencefalografia (EEG), explorou as respostas do cérebro do consumidor aos estímulos de marketing no que diz respeito aos processos de tomada de decisão dos consumidores.

Já Casado-Aranda, Dimoka e Sanchez-Fernandez (2019) realizaram um experimento com a utilização de ressonância magnética funcional (*fMRI*) simulando uma compra *online* de baixo envolvimento. Com isso, os autores descobriram que os selos de aprovação trazem mais confiança e ativam áreas do cérebro ligadas à recompensa e aos valores esperados.

A partir da utilização de mais de uma ferramenta da neurociência, os autores Ramsay, Michael e Michael (2019) valendo-se do apoio do eletroencefalograma (EEG) e rastreamento ocular, trabalharam com um processo de tomada de decisão mais complexo, que diz respeito ao turismo. Já Yen e Chiang (2021) examinaram os processos cerebrais dos participantes quando estes demonstravam suas preferências por um determinado produto e expõe os fatores que influenciam o comportamento do consumidor usando rastreamento ocular, eletroencefalograma (EEG) e ressonância magnética (*fMRI*). Mais recentemente, Chiang, Yen e Chen (2022) desenvolveram um trabalho utilizando Rastreamento Ocular e gravações de um EEG para capturar as variáveis psicológicas e fisiológicas à fim de avaliar o impacto da idade do consumidor que utiliza plataformas de compras *online* de produtos sustentáveis. Assim sendo, é possível perceber a importante contribuição que as abordagens da neurociência do consumidor possuem para os estudos comportamentais e neurofisiológicos dos decisores durante o processo de tomada de decisão.

Por último, a integração da neurociência com a abordagem de sistemas de informação, também popularmente conhecida como “*NeuroIS*” mostra-se como área promissora e com pesquisas interessantes envolvendo o comportamento dos indivíduos, a tomada de decisão e o envolvimento dos sistemas de informação. A

*NeuroIS* é um campo de pesquisas em que as teorias e ferramentas da neurociência são utilizadas para entender os fenômenos dos sistemas de informação (WEINERT *et al.*, 2015; XIONG; ZUO, 2020). As ferramentas de neurociência apresentam-se também como formas de agregar diversas vantagens para a área de Sistemas da Informação (SI), conforme debatido por Zhao e Siau (2016).

Neste sentido, Dimoka *et al.* (2011) propuseram um conjunto de sete oportunidades de desenvolvimentos de estudos na área de neurociência e sistemas de informações. Sequencialmente, Dimoka *et al.* (2012) debate o papel das ferramentas neurocientíficas na pesquisa de Sistema de Informação. É neste ponto que Riedl *et al.* (2014) apresentam trabalhos da literatura que possibilitam o desenvolvimento de sistemas que melhor se enquadrem as necessidades dos seus usuários.

Nesta abordagem, Buettner (2015) realizou uma pesquisa na qual com auxílio da medição do diâmetro da pupila, para analisar o desempenho dos usuários quando estes estavam avaliando um *website*. O trabalho concentrou-se na busca por inferir o nível de esforço mental dos participantes e sequencialmente propor melhorias ao *website*. Já os autores Anderson *et al.* (2016) propuseram um estudo com o auxílio do *Eye-tracking*, no qual colheram os dados do rastreamento ocular para entender como o cérebro dos participantes percebem e respondem a mensagens de segurança, para a partir disto projetar mensagens com maior eficácia.

Ainda com o uso de ferramentas neurológicas, Perkhofer e Hofer (2021) realizaram um experimento captando dados com o auxílio do equipamento de rastreamento ocular para investigar a influência do *design* do gráfico de dispersão ou matriz de dispersão, na capacidade do tomador de decisão em processar essas informações.

A partir de todo este aparato, é possível inferir que a neurociência é um tema de expressiva relevância e que apresenta excelentes ideias sobre o comportamento dos tomadores de decisão, contribuindo deste modo para o avanço nos estudos que são desenvolvidos nas mais diversas áreas do conhecimento. Levando em consideração os aspectos presentes nos levantamentos feitos, é perceptível o quanto os estudos que envolvem a neurociência podem auxiliar no entendimento do processo decisório. Neste contexto, Linkov *et al.* (2012) aborda que os experimentos desenvolvidos utilizando ferramentas neurocientíficas tem grande poder, haja vista os *insights* que estes trazem para o processo decisório.

## 2.6 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTA PESQUISA

A presente pesquisa está inserida em um contexto multidisciplinar que abrange os campos de decisão multicritério, métodos como o FITradeoff, e a integração de ferramentas de neurociência para aprimorar o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) associado. A partir do que foi levantado no decorrer do capítulo, os estudos que envolvem neurociência e as suas ferramentas vem desenvolvendo-se cada vez mais. Os achados revelaram-se que as ferramentas da neurociência possibilitam o entendimento dos processos cognitivos dos indivíduos durante o processo de tomada de decisão multicritério.

A revisão da literatura revela que existem estudos de neurociência na área de *MCDM* especificamente para as análises das reações neurofisiológicas dos decisores com o intuito de melhorar o SAD do FITradeoff. Esses trabalhos fornecem *insights* interessantes para o desenvolvimento de novas pesquisas e investigações, como também ressaltam as lacunas presentes na literatura, contribuindo desta forma para disseminar informações cada vez melhores. No entanto, é interessante ressaltar que esses estudos encontrados focam-se em análises de outros paradigmas e etapas do FITradeoff. É neste sentido que o diferencial desta pesquisa centra-se na análise neurofisiológica dos decisores, de forma comparativa entre dois grupos, sendo que um possui conhecimento em decisão multicritério e outro não. Destaca-se ainda que as análises foram concentradas na etapa de avaliação intracritério, que é uma nova fase do SAD, sendo que não existem estudos presentes na literatura com foco nesta etapa específica.

Portanto, este trabalho oferece uma perspectiva inovadora a partir dos aspectos neurofisiológicos durante a tomada de decisão multicritério, contribuindo para uma melhor compreensão dos fenômenos atrelados a estes processos.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho visa analisar o comportamento da reação neurofisiológica de decisores diante da resolução de um problema de decisão multicritério. Neste sentido, utilizou-se o SAD do FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016; DE ALMEIDA *et al.*, 2021) para moldar o problema específico, que consistiu na seleção de um smartphone. O método e o SAD do FITradeoff foram escolhidos pela sua flexibilidade, possibilitando que o decisor emita apenas as preferências que acreditar mais adequada, podendo inclusive parar o procedimento a qualquer tempo. Os resultados foram plotados a partir das análises realizadas nas etapas da avaliação intracritério do FITradeoff.

A partir deste cenário, foi capturado os dados do diâmetro da pupila com o apoio do *Eye-tracking*. Ressalta-se que esta ferramenta da neurociência possibilita e auxilia para um melhor entendimento do comportamento do decisor no processo decisório (ROSELLI; DE ALMEIDA, 2019). Desta forma, este trabalho combina os aspectos comportamentais dos decisores com o método de apoio a decisão multicritério, investigando como os usuários apontam suas preferências. Por fim, este estudo permite que haja a avaliação dos níveis de atenção e padrões comportamentais dos dois grupos de participantes, diante da utilização do SAD.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA

As pesquisas podem ser classificadas a partir de sua natureza, finalidade, objetivos, dados, técnicas e métodos utilizados (MIGUEL *et al.*, 2012; GANGA, 2012). Assim sendo, conduziu-se a revisão bibliográfica da literatura para definir a estrutura metodológica no que concerne aos objetivos, natureza, abordagem e procedimentos desta pesquisa. O Quadro 2 reúne as informações da estrutura metodológica deste trabalho.

Quadro 2 - Classificação metodológica

ABORDAGEM	NATUREZA	OBJETIVOS	PROCEDIMENTOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitativa</li> <li>• Quantitativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Básica</li> <li>• Aplicada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicativa</li> <li>• Descritiva</li> <li>• Exploratória</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa documental</li> <li>• Pesquisa bibliográfica</li> <li>• Estudo de caso</li> </ul>

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Conforme denota-se a partir do Quadro 2, a abordagem desta pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa. Segundo Lakatos e Marconi (2010) a abordagem qualitativa se preocupa com a análise e interpretação dos aspectos mais profundos, visando descrever a complexidade do comportamento humano. Já a abordagem quantitativa, utiliza da estatística e da matemática, de maneira geral, para possibilitar que a partir de uma amostra representativa seja possível a generalização dos resultados (GUNTHER, 2006). Portanto, neste trabalho a abordagem qualitativa se faz presente no desenvolvimento das análises comparativas (LAKATOS; MARCONI, 2010) e a abordagem quantitativa é enxergada a partir dos métodos estatísticos que são utilizados desde a definição da amostra até o processamento dos dados (GUNTHER, 2006).

Vergara (2007) expõe que as pesquisas de natureza aplicada que são àquelas motivadas à solução de problemas concretos. Deste modo, este é o tipo de pesquisa que melhor representa este trabalho, haja vista que envolve experimentos práticos, desenvolvidos no laboratório *NeuroScience for Information and Decision Laboratory* (NSID), possibilitando que os resultados sejam aplicados em outras situações reais.

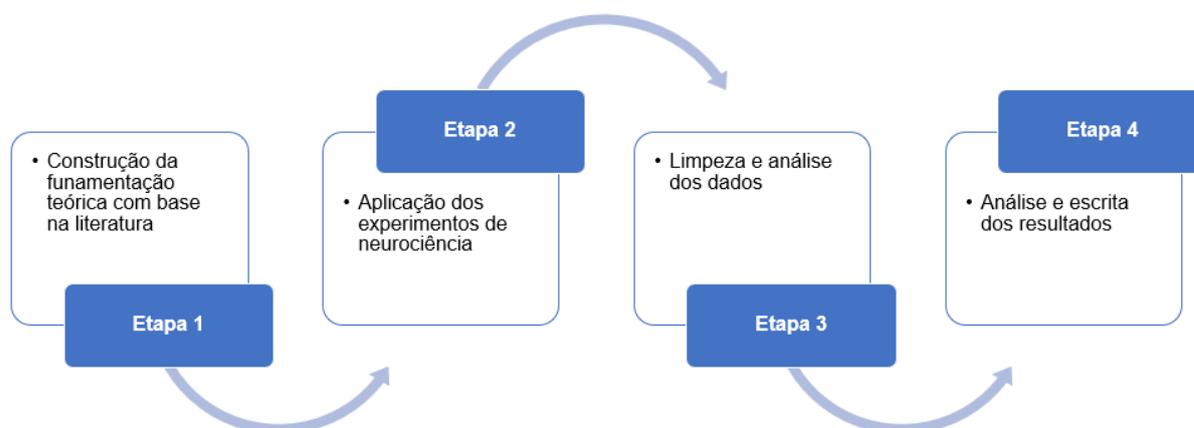
Adiante, os objetivos deste trabalho são classificados como exploratórios, visto que utiliza dados colhidos a partir de um experimento de neurociência, com a intenção de compreender o comportamento dos decisores durante o uso do SAD, realizando levantamento e fazendo testagem de hipóteses ao longo da pesquisa. Gil (2017) discorre que o intuito deste tipo de pesquisa é proporcionar maior familiaridade ao problema, possibilitando a investigação e criando hipóteses para obter *insights* sobre o tema pesquisado.

Por fim, em se falando dos procedimentos adotados, este trabalho utiliza a documentação indireta (MIGUEL *et al.*, 2012; GIL, 2017) uma vez que foi realizada pesquisa bibliográfica em periódicos, livros e artigos e também se trata de um estudo de caso, no qual serão utilizados os dados obtidos a partir da aplicação de um experimento, com o auxílio do equipamento de neurociência *Eye-tracking*.

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Esta pesquisa foi dividida em etapas que vão desde a construção da revisão literária até a plotagem dos resultados encontrados com a aplicação do experimento. A Figura 2 resume as etapas seguidas para a construção deste trabalho.

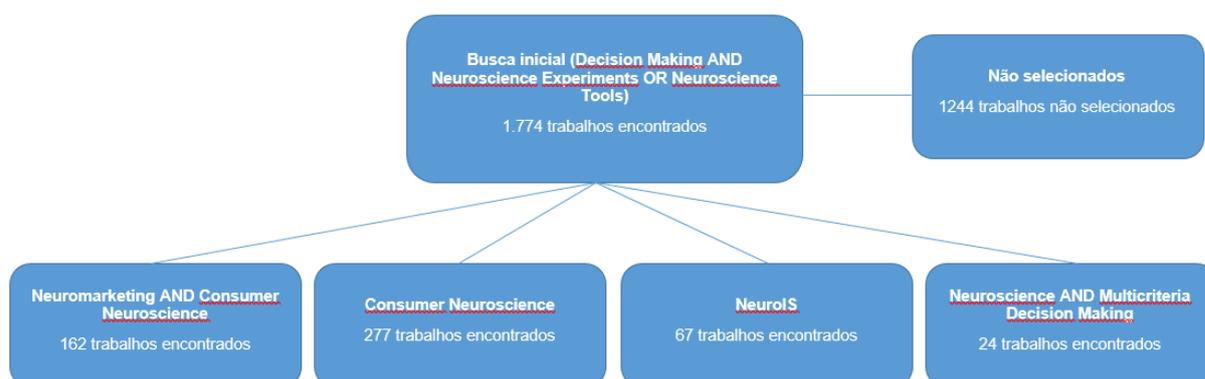
Figura 2 - Etapas do estudo



Fonte: Esta pesquisa (2023)

A primeira etapa deste estudo foi a busca por trabalhos que fundamentem a pesquisa aqui construída. Para isto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica na base da *Web of Science*, a partir da combinação de *strings* que resultem em estudos que estejam associados a temática de neurociência em decisão, principalmente àqueles que buscam averiguar os comportamentos neurofisiológicos dos indivíduos na tomada de decisão multicritério. O Fluxograma 1 resume os resultados encontrados.

Fluxograma 1 - Esquema da pesquisa bibliográfica



Fonte: Esta pesquisa (2023)

O pontapé inicial da pesquisa bibliográfica foi a inserção das *strings* que estão detalhadas, juntamente com seus resultados de buscas e resultado final de trabalhos encontrados no Fluxograma 1. Percebe-se que a quantidade de trabalhos localizados inicialmente é significativa, porém diminui quando são distribuídos entre as áreas presentes na literatura. Isto acontece, porque a grande maioria dos trabalhos, não são inerentes a investigação neurofisiológica durante o processo decisório, mas sim em

outras esferas que não estão atrelados com esta temática e por isso não foram considerados. É justamente por isto, que outros 1.244 trabalhos já não foram selecionados para leitura, haja vista que não tratam de investigação neurofisiológica durante o processo de tomada de decisão. Por fim, salienta-se que nem todos os trabalhos encontrados foram percorridos, haja vista que embora sejam atreladas as áreas, não faziam menções à tomada de decisão.

Outro ponto que merece destaque referente a pesquisa bibliográfica são as combinações das *strings* iniciais, que resultaram no encontro dos demais trabalhos dentre as áreas. A justificativa para a seleção e combinação destas palavras-chaves, se deu com base no que há na literatura, a partir do que tinha sido encontrado de forma inicial. Para tanto, a partir da primeira busca pelos estudos de neurociência voltados para avaliar a reação neurofisiológica dos indivíduos durante o processo de *MCDM*, foi possível identificar as 4 grandes áreas.

A segunda etapa deste estudo foi a aplicação do experimento, que inclusive é objeto de discussão no capítulo seguinte. Para tanto, esta etapa conta com todo o processo de seleção da amostra, cuidados com o ambiente de aplicação do experimento e aplicação de fato do experimento.

Na etapa seguinte, foi realizado o processamento dos dados, de modo a torná-los limpos e possíveis de serem analisados, haja vista que o *software* disponibiliza os dados em sua forma bruta. Para isto, foi necessário utilizar-se dos recursos do Microsoft Excel 2016, para aplicar os filtros, selecionar os dados de fato necessários e correspondentes à esta pesquisa.

Por fim, a última etapa correspondeu a plotagem dos resultados, que neste caso se deu a partir do Excel e da linguagem de programação R no RStudio. O Excel foi utilizado para a preparação de todas as tabelas com os resultados, como também para a plotagem dos gráficos. Enquanto isso, a partir da linguagem de programação R no RStudio, os testes estatísticos foram realizados.

O próximo capítulo detalha com maior rigor todos os passos do experimento aplicado nesta pesquisa, como também explica como cada ferramenta e *softwares* foram utilizados.

## 4 EXPERIMENTO DE NEUROCIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO DECISOR

### 4.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO

Este trabalho busca analisar a reação neurofisiológica dos participantes a partir do diâmetro da pupila, enquanto estes resolvem um problema de decisão multicritério. Neste sentido, busca-se entender o comportamento de dois grupos distintos de decisores diante da resolução de um problema com múltiplos critérios, no SAD do FITradeoff, através dos dados oculares.

Neste cenário, o estudo foi conduzido em etapas, de modo que o Fluxograma 2 resume os processos perseguidos.

Fluxograma 2 - Etapas do experimento



Fonte: Esta pesquisa (2023)

Cada etapa descrita no fluxograma acima, será detalhada em seções específicas.

#### 4.1.1 Descrição do problema

A primeira etapa deste estudo foi a seleção do problema que os participantes precisaram resolver. Neste caso, foi definido para este experimento um problema de tomada de decisão multicritério, especificamente para a problemática de escolha, onde o caso real tratou da seleção de um *smartphone*, a partir de 7 critérios de avaliação, conforme descritos no Quadro 3. Este problema, como também os seus critérios, foram selecionados por representarem uma problemática comum na sociedade e que podem ser rapidamente absorvidas pelos participantes. Ainda, ressalta-se que os critérios foram extraídos de uma pesquisa nos sítios eletrônicos especializados em vendas de *smartphone*.

Quadro 1 – Critérios de avaliação do problema de decisão multicritério

<b>Critério</b>	<b>Unidade de medida</b>
Preço / Price	Real (R\$)
Qualidade da foto / Photo Quality	Escala likert de 5 pontos (quanto maior a nota, melhor)
Armazenamento/memória / Memory Storage	Gigabytes
Duração da bateria / Battery	Duração em horas
Tamanho da tela / Screen Size	Polegadas
Design do aparelho / Design	Escala likert de 5 pontos (quanto maior a nota, melhor)
Ano de lançamento do aparelho / Release year	Ano

Fonte: Esta pesquisa (2023)

O problema escolhido juntamente com os critérios de avaliação foi modelado no SAD do FITradeoff para a problemática de escolha (<http://www.cdsid.org.br/fitradeoff/>) para auxiliar os participantes a tomarem suas decisões.

#### **4.1.2 Seleção da amostra**

A etapa seguinte consistiu na seleção da amostra dos participantes do experimento. Esta seleção aconteceu de modo que dois grupos distintos de indivíduos fizessem parte da pesquisa, sendo que a composição se deu da seguinte forma: (i) pessoas com conhecimento em decisão multicritério e (ii) pessoas sem conhecimento em decisão multicritério, mas que estão atuando no mercado de trabalho. O grupo com conhecimento em decisão multicritério foi composto por estudantes do curso de Graduação e Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco. Já o outro grupo, neste caso composto por voluntários sem conhecimento em decisão multicritério, foi composto por cidadãos que nunca tiveram contato com a disciplina, mas que estavam empregados no mercado de trabalho. A justificativa para esta escolha é advinda do objetivo de analisar o comportamento neurofisiológico de diferentes amostras diante da resolução de um problema de decisão multicritério com o auxílio de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD).

Além disso, a Tabela 1 expõe a partir de estatísticas descritivas algumas outras características das duas amostras. Dentre elas, destaca-se o maior número de homens, em ambos os grupos estudados.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das amostras

	<b>Com conhecimento</b>	<b>Sem conhecimento</b>
<b>Homens</b>	13	14
<b>Mulheres</b>	9	9
<b>Faixa etária</b>	22 - 41 anos de idade	

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Com a amostra delimitada, procedeu-se com o envio dos convites e as instruções prévias ao experimento através de mensagens eletrônicas. Por sua vez, os voluntários confirmaram suas participações, como também informaram os dias e horários possíveis para comparecer ao experimento. A partir disto, esta pesquisa contou com 45 voluntários, sendo que 22 representavam o grupo com conhecimento em decisão multicritério e 23 não possuíam conhecimento em decisão multicritério. No entanto, 3 participantes tiveram seus dados eliminados das análises, na qual 1 deles estava alocado no grupo com conhecimento e os outros 2 eram do grupo sem conhecimento. Ao final, este estudo considerou os dados de 42 participantes para as análises, sendo 21 indivíduos para cada grupo. O Quadro 4 reúne os participantes, os grupos aos quais fazem parte, como também explana os participantes que tiveram os dados excluídos das análises.

Quadro 4 - Participantes do experimento

Reconhecimento no Experimento	Já cursou a disciplina de Decisão Multicritério	Reconhecimento no Experimento	Já cursou a disciplina de Decisão Multicritério	Reconhecimento no Experimento	Já cursou a disciplina de Decisão Multicritério
Participante 01	Sim	Participante 08	Não	Participante 02	DADOS PERDIDOS
Participante 03	Sim	Participante 09	Não	Participante 19	DADOS PERDIDOS
Participante 04	Sim	Participante 10	Não	Participante 21	DADOS PERDIDOS
Participante 05	Sim	Participante 13	Não		
Participante 06	Sim	Participante 14	Não		
Participante 07	Sim	Participante 15	Não		
Participante 11	Sim	Participante 16	Não		
Participante 12	Sim	Participante 17	Não		
Participante 24	Sim	Participante 18	Não		
Participante 25	Sim	Participante 20	Não		
Participante 28	Sim	Participante 22	Não		
Participante 31	Sim	Participante 23	Não		
Participante 32	Sim	Participante 26	Não		
Participante 33	Sim	Participante 27	Não		
Participante 34	Sim	Participante 29	Não		
Participante 35	Sim	Participante 30	Não		
Participante 36	Sim	Participante 41	Não		
Participante 37	Sim	Participante 42	Não		
Participante 38	Sim	Participante 43	Não		
Participante 39	Sim	Participante 44	Não		
Participante 40	Sim	Participante 45	Não		

Fonte: Esta pesquisa (2023)

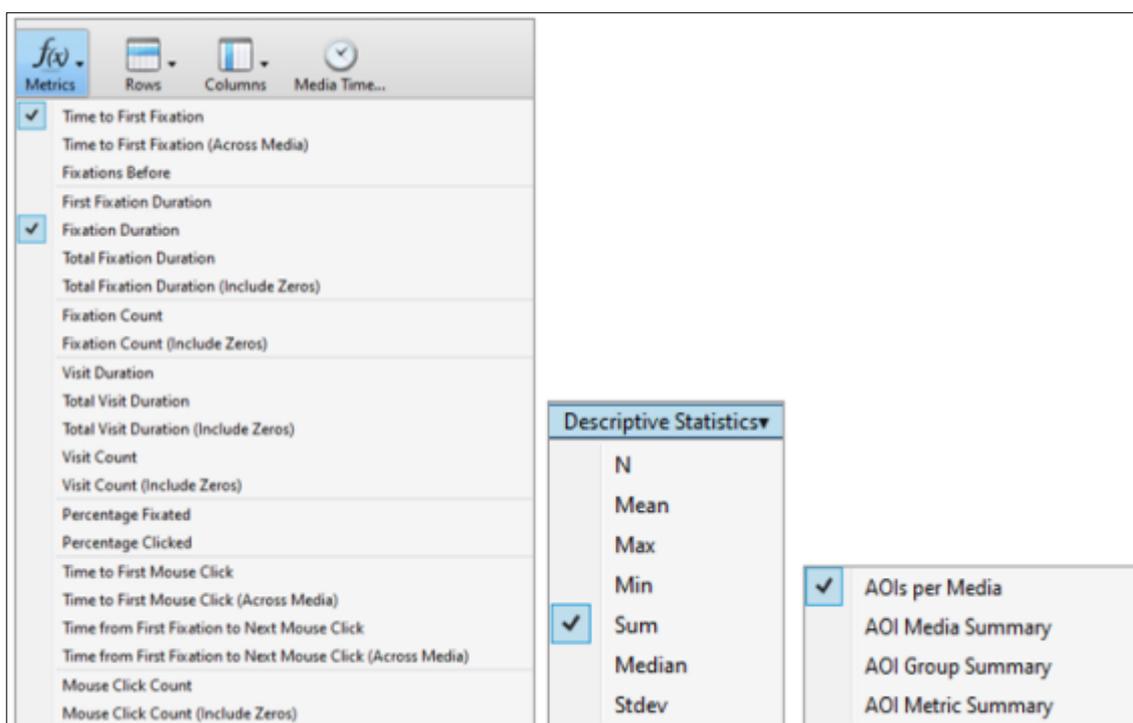
### 4.1.3 Equipamentos e materiais utilizados

O experimento foi realizado em um monitor com tela de 1280 x 1024 píxeis, conectado a um notebook de 64 bits, com Windows 10 e 4GB de RAM, plugado ao *Eye-tracking* e com todos os *softwares* necessários instalados. Este monitor estava posicionado a 60 cm dos participantes, para que a captura dos movimentos fosse realizada de forma correta.

Os dados oculares foram obtidos a partir da utilização do *Eye-tracking X120*, da Tobii, que é uma ferramenta da neurociência que possibilita o rastreamento ocular de forma estática e não invasiva. Este equipamento é útil quando utilizado para experimentos em telas de computadores, visto que sua taxa de amostragem é de 120Hz e precisão de 0,5°, que captura olhares em ângulos de até 35°. O Tobii Studio foi utilizado para registrar os olhares e os cliques do mouse dos participantes durante a resolução do problema.

O Tobii Studio consegue fornecer algumas informações iniciais, a exemplo do tempo de primeira fixação, duração da fixação, contagem de fixações, dentre outras métricas que podem ser vistas na Figura 3. Além disso, há também as estatísticas descritivas, que estão descritas de forma detalhada no Quadro 5.

Figura 3 - Informações das estatísticas descritivas do Tobii Studio



Fonte: Tobii Studio (2024)

Quadro 5 - Definições das estatísticas descritivas do Tobii Studio

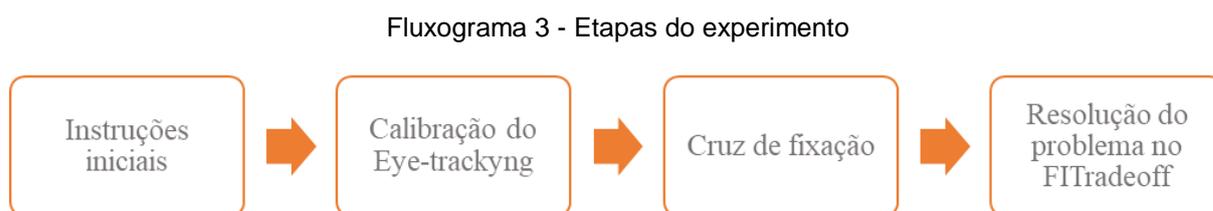
<b>Estatística Descritiva</b>	<b>Definição</b>
N	Número de valores de dados ou tamanho da amostra usado para calcular a Média e Desvio Padrão (Número de gravações, fixações, visitas ou participantes).
Média	Descreve a tendência central de um conjunto de valores de dados. É calculado somando todos os valores dos dados e dividindo por N (Número de valores de dados). O Tobii Studio calcula a média aritmética.
Max	Maior valor no conjunto de dados.
Min	Menor valor no conjunto de dados.
Soma	A soma de todos os valores de dados.
Mediana	O valor que separa um conjunto de dados em duas metades. O valor é calculado primeiro organizando uma lista finita de valores de dados do menor para o maior e, em seguida, determinando qual valor de dados está localizado no meio da lista – o valor mediano. Se o número de valores de dados for par, então não haverá um único valor de dados intermediário. A mediana é então definida pela média dos dois valores de dados.
Desvio Padrão	Descreve a variabilidade em um conjunto de valores de dados. O valor é calculado pelo enraizamento quadrado da média dos quadrados dos desvios de cada valor de dados da média. O Tobii Studio calcula o desvio padrão da amostra (N-1).

Fonte: Manual Tobii Studio (2016)

É de se ressaltar que o Tobii Studio faz algumas limpezas iniciais no tratamento dos dados que são fornecidos, porém esta limpeza que o *software* realiza, não é o suficiente para as análises que este estudo realizou.

#### 4.1.4 Aplicação do experimento

Na sequência, foi dado início aos experimentos de neurociência, que aconteceram na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, no Campus Acadêmico do Agreste. Os experimentos mantiveram-se com o mesmo padrão de aplicação de modo a tornar o ambiente igual para todos os participantes à fim de evitar possíveis vieses nos dados do experimento. O Fluxograma 3 ilustra de forma sumária a etapa de realização do experimento:



Fonte: Esta pesquisa (2023)

Durante a coleta dos dados, o primeiro momento foi o acolhimento dos participantes, sendo este também o momento em que o voluntário foi submetido a ler o Termo de Consentimento aprovado pelo Comitê de Ética da UFPE (CAAE – 69253017.0.0000.5208) e em sendo da sua vontade o assinavam. Na sequência, os participantes recebiam o documento com as instruções sobre os 7 critérios e suas respectivas unidades de medidas que seriam expostos no experimento. Após isto, o analista solicitou que o voluntário respondesse o formulário intitulado pré-experimento para, em seguida, ser conduzido de fato o experimento.

Seguidamente, os participantes foram posicionados na frente do monitor de modo que o *Eye-tracking* conseguisse capturar os movimentos oculares e quando necessário, foram realizados ajustes no posicionamento do voluntário. Após isto, foi feito a calibração da ferramenta de neurociência, para que a captura dos dados oculares fosse realizada dentro dos parâmetros aceitáveis para a pesquisa, que neste caso foi acima de 60%. Ainda neste momento, o participante foi orientado verbalmente sobre o experimento, onde explicações sobre o equipamento e possibilidade de encerrar o experimento antes do seu real término eram feitas pelos analistas.

Antes de iniciar a resolução do problema, o voluntário foi submetido a analisar de forma primária a cruz de fixação (PESCHEL *et al.*, 2018) para certificação de que o participante fixou o olhar no meio da tela. Sequencialmente, o participante navegou

pelas telas do SAD do FITradeoff, sendo monitorado pela ferramenta de rastreamento ocular. Neste sentido o participante foi redirecionado para o SAD do FITradeoff na *Web* para a problemática de escolha (<http://www.cdsid.org.br/fitradeoff/>). Adiante, o participante foi submetido a resolver o problema de acordo com o método FITradeoff, ou seja, passou pelas etapas de: (i) avaliação intracritério; (ii) ordenação; (iii) avaliação holística e/ou por decomposição e (iv) avaliação da recomendação da decisão.

Por fim, ao término da etapa diante do monitor, os participantes respondiam um novo e último questionário, intitulado de formulário pós-experimento juntamente com os agradecimentos pela participação na pesquisa. É importante ressaltar que todos os dados coletados nesta pesquisa foram mantidos em anonimato e proteção.

#### **4.1.5 Processamento dos dados**

Com o experimento aplicado, inicia-se a fase de exportação dos dados. Para isto, foi utilizado o *software* Tobii Studio, que forneceu os dados gravados durante o experimento. O Tobii Studio molda-se em uma plataforma que permite as gravações e análises dos dados de rastreamento ocular, facilitando as comparações e interpretações do comportamento humano. Este *software* possui ferramentas de análises que permitem a realização de diversos estudos e investigações, como também possibilita a integração dos dados de rastreamento ocular com vídeo, som, cliques de *mouse*, posicionamento de teclas e outras fontes de dados dos participantes em uma única solução.

Ainda nesta fase, foi preciso que os dados exportados passassem por uma etapa de limpeza, aplicação de filtros e interpolação linear. Como dito na seção anterior, embora o Tobii Studio realize uma limpeza inicial, esta ainda não é o suficiente para os fins desta pesquisa em questão. Para isto, foi utilizado o *software* Microsoft Excel 2016 e o RStudio. A limpeza dos dados fez-se necessária pois a base de dados emitida do Tobii Studio possui caracteres desnecessários, unidades de medidas despadronizadas e uma grande quantidade de dados. É neste mesmo cenário que a aplicação dos filtros é realizado, visto que a quantidade de dados que o *software* disponibiliza é além do que esta pesquisa necessita. Para tanto, filtra-se apenas os dados que correspondem e dizem respeito ao atingimento dos objetivos deste estudo. Por fim, realizou-se a interpolação linear por meio do processamento dos dados, a partir do *Visual Basic for Applications (VBA)* do Excel, para preencher os dados durante as piscadas dos participantes (HOPSTAKEN *et al.*, 2016;

MCGARRIGLE *et al.*, 2017; BURKE *et al.*, 2018; MARANDI *et al.*, 2019; PIRES *et al.*, 2019).

#### **4.1.6 Análises dos dados e resultados**

As etapas finais deste estudo correspondem a análise dos dados e escrita dos resultados. Para analisar os dados, foram utilizados o Excel e o Rstudio. Neste sentido, as principais métricas extraídas do Tobii Studio foram inseridas no Excel para que pudessem ser construídas as tabelas e plotagem dos gráficos, à fim de realizar as análises comparativas. Na sequência, com o auxílio do RStudio, foram realizados os testes estatísticos de *Wilcoxon* e *Mann-Whitney*.

Por fim, a partir de toda a construção deste experimento, foi percorrido sobre os resultados encontrados que estão dispostos no capítulo 5.

## 5 RESULTADOS

Esta seção apresentará os resultados do experimento descrito anteriormente, como também oferece a partir das métricas e indicadores descritos na seção anterior as análises realizadas, tanto descritivas como estatísticas. Por questão de organização e facilidade na leitura e interpretação dos resultados, em todo o decorrer desta seção serão realizadas comparações, seja entre os dois grupos ou dentro do próprio grupo, também chamados de amostra com conhecimento em decisão multicritério e amostra sem conhecimento em decisão multicritério. É esperado com este estudo verificar como o grau de conhecimento em problemas de decisão multicritério influencia no processo de elicitación de preferências.

As análises dos dados foram realizadas a partir de uma padronização na seleção dos critérios onde a justificativa para este ordenamento foi a busca pela menor inconsistência nas comparações. Para isto, estabeleceu-se a regra do maior percentual de seleção dentre os participantes, ou simplesmente a frequência de seleção deste critério. Para isto, calculou-se a quantidade de critérios que foram selecionados pelos participantes naquela posição e adotou-se o mais selecionado dentre todos. Isto foi feito para todas as 7 seleções de critérios e o mesmo rigor foi considerado para todas as outras seleções, até chegar na ordenação estabelecida na Tabela 2. A partir desta padronização, as análises foram no critério de fato, ou seja, embora o participante 01 tenha selecionado o critério “*Preço*” na primeira seleção de critério e o participante 09 tenha selecionado primeiramente o critério “*Ano de lançamento*” e só tenha selecionado o critério “*Preço*” no critério 5, as análises serão para ambos os participantes sobre o critério “*Preço*”, haja vista que a frequência exibiu que a maioria dos participantes optaram pelo critério “*Preço*” na primeira seleção de critério.

O Quadro 6 detalha a ordem de escolha dos critérios pelos participantes do experimento, e a Tabela 2 expõe a ordem estabelecida para as análises dos dados de forma ordenada.

Quadro 6 - Ordens da seleção dos critérios pelos participantes na avaliação intracritério

ORDENS - SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS - EXPERIMENTO							
PARTICIPANTES	CRITÉRIO 1	CRITÉRIO 2	CRITÉRIO 3	CRITÉRIO 4	CRITÉRIO 5	CRITÉRIO 6	CRITÉRIO 7
Participante 01	Preço	Armazenamento/Memória	Tamanho da tela	Design do aparelho	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Ano de lançamento
Participante 02	-	-	-	-	-	-	-
Participante 03	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 04	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 05	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 06	Preço	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Tamanho da tela	Armazenamento/Memória	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 07	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Ano de lançamento	Design do aparelho	Duração da bateria	Tamanho da tela
Participante 08	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Preço	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 09	Preço	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 10	Preço	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 11	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 12	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 13	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 14	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 15	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 16	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 17	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 18	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 19	-	-	-	-	-	-	-
Participante 20	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento	Preço	Duração da bateria
Participante 21	-	-	-	-	-	-	-
Participante 22	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Preço	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 23	Preço	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Armazenamento/Memória	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 24	Preço	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 25	Preço	Duração da bateria	Qualidade da Foto	Design do aparelho	Armazenamento/Memória	Ano de lançamento	Tamanho da tela
Participante 26	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 27	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 28	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 29	Preço	Design do aparelho	Qualidade da Foto	Tamanho da tela	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Ano de lançamento
Participante 30	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 31	Preço	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Qualidade da Foto	Ano de lançamento	Design do aparelho	Tamanho da tela
Participante 32	Preço	Duração da bateria	Design do aparelho	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Ano de lançamento	Tamanho da tela
Participante 33	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 34	Armazenamento/Memória	Design do aparelho	Ano de lançamento	Preço	Duração da bateria	Qualidade da Foto	Tamanho da tela
Participante 35	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 36	Preço	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 37	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 38	Preço	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Qualidade da Foto	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 39	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Ano de lançamento	Design do aparelho
Participante 40	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 41	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 42	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 43	Armazenamento/Memória	Qualidade da Foto	Preço	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 44	Qualidade da Foto	Preço	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento
Participante 45	Preço	Qualidade da Foto	Armazenamento/Memória	Duração da bateria	Tamanho da tela	Design do aparelho	Ano de lançamento

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Tabela 2 - Ordem final estabelecida para as análises dos critérios da avaliação intracritério

Critério 1		Critério 2		Critério 3		Critério 4		Critério 5	
Preço	36	Preço	1	Preço	2	Preço	2	Preço	0
Qualidade da Foto	3	Qualidade da Foto	28	Qualidade da Foto	6	Qualidade da Foto	3	Qualidade da Foto	1
Memória/Armazenamento	3	Memória/Armazenamento	9	Memória/Armazenamento	25	Memória/Armazenamento	1	Memória/Armazenamento	4
Duração da bateria	0	Duração da bateria	2	Duração da bateria	5	Duração da bateria	30	Duração da bateria	1
Tamanho da tela	0	Tamanho da tela	0	Tamanho da tela	2	Tamanho da tela	2	Tamanho da tela	33
Design do aparelho	0	Design do aparelho	2	Design do aparelho	1	Design do aparelho	3	Design do aparelho	1
Ano de lançamento	0	Ano de lançamento	0	Ano de lançamento	1	Ano de lançamento	1	Ano de lançamento	2

Critério 6		Critério 7	
Preço	1	Preço	0
Qualidade da Foto	1	Qualidade da Foto	0
Memória/Armazenamento	0	Memória/Armazenamento	0
Duração da bateria	3	Duração da bateria	1
Tamanho da tela	0	Tamanho da tela	5
Design do aparelho	34	Design do aparelho	1
Ano de lançamento	3	Ano de lançamento	35

Ordenação final	
Critério 1)	Preço
Critério 2)	Qualidade da Foto
Critério 3)	Memória/Armazenamento
Critério 4)	Duração da bateria
Critério 5)	Tamanho da tela
Critério 6)	Design do aparelho
Critério 7)	Ano de lançamento

Fonte: Esta pesquisa (2023)

A partir da ordenação final estabelecida na Tabela 2, foi possível realizar as análises de igual modo para todos os participantes, enxergando deste modo como eles se comportaram ao tratarem de determinado critério. Isto foi necessário para que as análises não se estabelecessem em critérios distintos entre os voluntários, haja vista que com esta padronização tornou-se possível ver o real comportamento do indivíduo durante as decisões relacionadas a cada critério de forma isométrica para

todos. A seguir, os testes estatísticos a partir da média do diâmetro da pupila corrigida por *baseline* serão expostos considerando a ordenação descrita na Tabela 2. Além disso, todas as demais análises foram realizadas tomando como base esta ordem.

### 5.1 ANÁLISE DA DILATAÇÃO MÉDIA DA PUPILA CORRIGIDA POR *BASELINE* ENTRE GRUPOS

A medida em que as ferramentas de rastreamento ocular tornam-se mais populares e estão mais facilmente disponíveis, podendo ser usadas em computadores, tablets e monitores (HU; LODEWIJKS, 2020), o tamanho da pupila vem sendo cada vez mais utilizada como um índice periférico não invasivo de processos cognitivos (EBITZ; MOORE, 2019). Desta forma, os movimentos oculares conseguem contribuir de forma significativa com a obtenção dos resultados da análise neurofisiológica e comportamental do decisor, sendo possível contribuir de forma positiva para o melhoramento do processo decisório.

De acordo com (MATHÔT *et al.* 2013; MATHÔT *et al.* 2014; UNGUREANU *et al.* 2017; MATHÔT *et al.* 2018) a média da dilatação da pupila corrigida por *baseline* consegue fornecer *insights* valiosos para os estudos da neurociência. O tamanho da pupila consegue evidenciar e refletir a atividade mental, como também os diferentes níveis de esforços dispensados na realização de uma atividade (GOLDWATER, 1972). Neste sentido, os estudos de Hess e Polt (1964) exibiram que a média da dilatação da pupila liga-se diretamente com a dificuldade do problema. Ou seja, a partir disto é possível inferir que a dilatação da pupila expõe o quanto o indivíduo dispensa de esforço para resolver o problema decisório.

Ressalta-se que o cálculo para se chegar aos números aqui evidenciados é dado pela razão entre os valores da média do diâmetro da pupila de cada participante em cada critério sob o valor do diâmetro da pupila na cruz de fixação, exposta no início do experimento.

Assim sendo, utilizou-se o teste de *Mann-Whitney*, visto que este apresenta-se como uma ferramenta robusta para a comparação não paramétrica de duas amostras independentes, que se destaca em cenários onde a normalidade dos dados não é atendida. Para tanto, com o intuito de identificar possíveis diferenças na média do diâmetro da pupila entre as amostras na etapa de avaliação intracritério, foi realizado o teste de *Mann-Whitney*. As hipóteses testadas nas comparações pareadas entre as combinações das amostras foram:

H0: A média do diâmetro da pupila da amostra com conhecimento em decisão multicritério é igual a média do diâmetro da pupila da amostra sem conhecimento em decisão multicritério.

H1: A média do diâmetro da pupila da amostra com conhecimento em decisão multicritério não é igual a média do diâmetro da pupila da amostra sem conhecimento em decisão multicritério.

A Tabela 3, exibe os resultados do teste estatístico realizado sob um alfa de 0,10 correspondendo a um nível de significância de 10%, sendo que é possível verificar que a média do diâmetro da pupila dos participantes nos critérios “*Memória/Armazenamento*”, “*Duração da bateria*”, “*Tamanho da tela*” e “*Ano de lançamento*” foram diferentes entre as amostras com conhecimento e sem conhecimento. Enquanto isto, a média do diâmetro da pupila dos participantes nos demais critérios são iguais para as amostras com conhecimento e sem conhecimento.

Tabela 3 - Resultados do teste de *Mann-Whitney* para comparação da média da dilatação da pupila corrigida por *baseline* entre as amostras

Teste de Mann-Whitney - Comparação entre as amostras							
Amostra <i>com</i> conhecimento Amostra <i>sem</i> conhecimento	Critério 1 - Preço	Critério 2 - Qualidade da foto	Critério 3 - Memória/Armazenamento	Critério 4 - Duração da bateria	Critério 5 - Tamanho da tela	Critério 6 - Design do aparelho	Critério 7 - Ano de lançamento
P-value	0.153	0.2399	0.08724	0.04901	0.04901	0.1079	0.03359
Valor de W	278	268	289	299	299	285	305

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Neste sentido, a avaliação intracritério revelou diferenças estatisticamente significativas, especialmente nos critérios 3 (Memória/Armazenamento), 4 (Duração da bateria), 5 (Tamanho da tela) e 7 (Ano de lançamento), todos situados próximos ao meio e mais para a segunda metade do processo de avaliação intracritério.

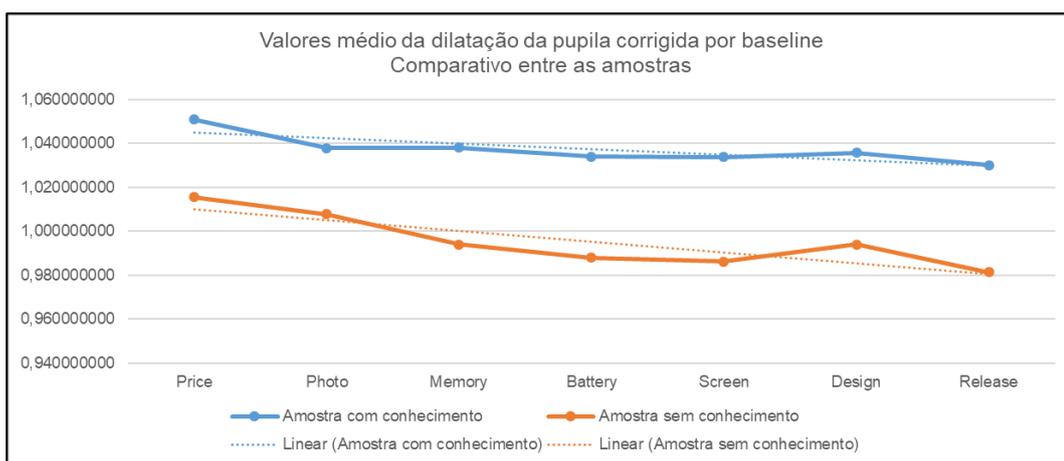
A notável diferença nas dilatações médias da pupila entre as amostras nesta fase sugere uma possível influência do conhecimento em decisão multicritério. A disparidade estatística nesses critérios indica uma variação notável nas reações neurofisiológicas dos participantes diante desses critérios. Neste sentido, pode-se inferir que a amostra com conhecimento direcionou sua atenção de maneira mais robusta nestes critérios, resultando em escolhas que otimizam esses critérios específicos e conseqüentemente dispensaram maior esforço cognitivo que reflete em valores médios de dilatação da pupila maiores que o da outra amostra.

Essas descobertas destacam não apenas diferenças nas escolhas finais, mas também nuances nas reações neurofisiológicas durante a avaliação intracritério. A

dilatação pupilar, como indicador neurofisiológico, emerge como uma ferramenta sensível para detectar nuances nas respostas dos participantes diante de critérios específicos, fornecendo *insights* valiosos sobre os processos cognitivos subjacentes.

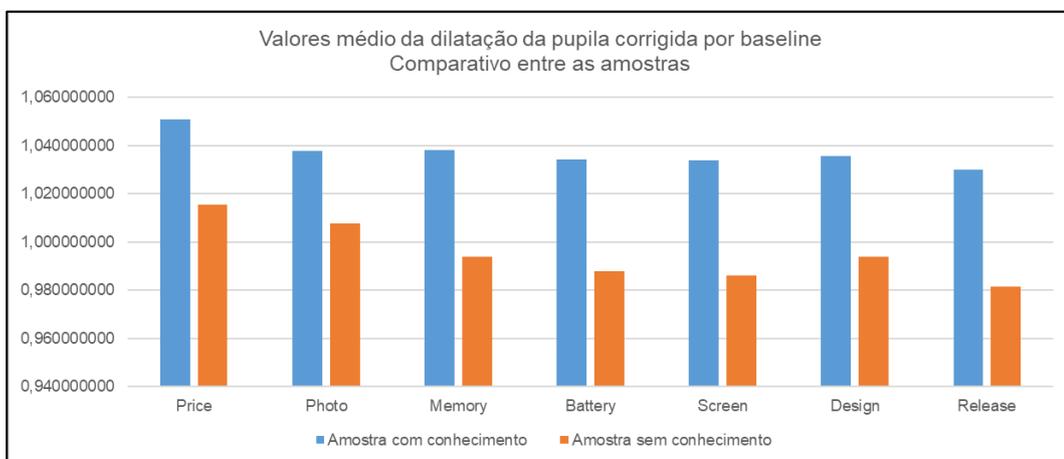
Além disso, foram realizadas as análises gráficas a partir do cálculo da dilatação média do diâmetro da pupila dos participantes das duas amostras deste experimento. Os Gráficos 1 e 2 exibem os resultados da média da dilatação da pupila corrigida por *baseline* dessas duas amostras que compõem este experimento.

Gráfico 1 - Valores médios da dilatação da pupila corrigida por *baseline* na etapa de avaliação intracritério



Fonte: Esta pesquisa (2023)

Gráfico 2 - Valores médios da dilatação da pupila corrigida por *baseline* na etapa de avaliação intracritério



Fonte: Esta pesquisa (2023)

Portanto, a partir das visualizações expostas nos Gráficos 1 e 2, é possível inferir que a análise do diâmetro médio da pupila forneceu informações adicionais sobre o comportamento neurofisiológico dos participantes durante o experimento. Observou-se uma tendência comum de queda na média da dilatação da pupila corrigida por *baseline* em ambos os grupos, indicando uma possível diminuição do esforço cognitivo à medida que a avaliação intracritério progride.

Interessantemente, essa redução no esforço foi mais pronunciada na amostra sem conhecimento em decisão multicritério. Isso sugere que, em decorrência da falta de familiaridade com o contexto de decisão multicritério esse grupo busque estratégias para simplificar o processo de resolução do problema, utilizando-se de respostas mais automáticas e diretas.

Por outro lado, a amostra com conhecimento em decisão multicritério apresentou uma média de dilatação da pupila ligeiramente maior. Esse achado pode ser interpretado como uma maior persistência ou engajamento cognitivo mesmo em estágios avançados da avaliação intracritério. Pode-se conjecturar que o conhecimento prévio nesse domínio específico motiva uma análise mais detalhada ou reflexiva, resultando em uma dilatação pupilar levemente superior.

Essas nuances na resposta pupilar fornecem uma camada adicional de compreensão sobre a dinâmica cognitiva subjacente à tomada de decisão multicritério, complementando as análises temporais previamente discutidas.

Por fim, é importante ressaltar que os resultados expostos nas ilustrações gráficas, refletem o resultado do teste de *Mann-Whitney*, na qual confirmou haver uma diferença estatisticamente significativa entre as amostras nos critérios “*Memória/Armazenamento*”, “*Duração da bateria*”, “*Tamanho da tela*” e “*Ano de lançamento*”. Então, como pode-se verificar, a diferença diz respeito a amostra com conhecimento que demonstrou uma média de dilatação da pupila corrigida por *baseline* acima da outra amostra, demonstrando o maior esforço quando comparadas.

## 5.2 ANÁLISE DA DILATAÇÃO MÉDIA DA PUPILA CORRIGIDA POR *BASELINE* PARA CADA GRUPO

Visando buscar uma robustez nas análises dos dados, foram testados estatisticamente os valores da média do diâmetro da pupila corrigida por *baseline* dos participantes que compõem a amostra com conhecimento em decisão multicritério, à

fim de verificar se existem diferenças significativas, ou seja, se há mudança no comportamento do diâmetro médio da pupila entre um critério e outro.

Para isto, realizou-se o teste de *Wilcoxon Signed-Rank Test* para amostras pareadas, com alfa correspondente de 10% em cada sequência. Esse teste foi utilizado tendo em vista a não-exigência com relação a conformidade com a distribuição normal para os valores da média do diâmetro da pupila dos participantes. Além disso, é de se afirmar que as amostras são dependentes, visto que os participantes analisaram os mesmos critérios (MONTGOMERY *et al.* 2000). As hipóteses testadas nas comparações pareadas entre as combinações dos critérios foram:

H0: O diâmetro médio da pupila corrigida por *baseline* dos participantes com conhecimento em decisão multicritério no critério x é semelhante ao diâmetro da pupila no critério y.

H1: O diâmetro médio da pupila corrigida por *baseline* dos participantes com conhecimento em decisão multicritério no critério x não é semelhante aos diâmetros da pupila no critério y.

Para explorar esses resultados, a Tabela 4 exibe os resultados das combinações.

Tabela 4 - Teste de *Wilcoxon* para a amostra com conhecimento em decisão multicritério

Teste de Wilcoxon - Amostra com Conhecimento					
Amostra com conhecimento	P-value	Preço x Qualidade da foto 0,004508	Preço x Memória/Armazenamento 0,001876	Preço x Duração da Bateria 2,05E-05	Preço x Tamanho da tela 0,002771
	V	189	196	221	193
	P-value	Preço x Design 0,00789	Preço x Ano de Lançamento 0,0003037	Qualidade da foto x Memória/Armazenamento 0,2696	Qualidade da foto x Duração da bateria 0,1361
	V	184	209	134	148
	P-value	Qualidade da foto x Tamanho da tela 0,1015	Qualidade da foto x Design 0,216	Qualidade da foto x Ano de lançamento 0,008773	Memória/Armazenamento x Duração da bateria 0,1602
	V	153	139	183	145
	P-value	Memória/Armazenamento x Tamanho da tela 0,1688	Memória/Armazenamento x Design 0,2927	Memória/Armazenamento x Ano de lançamento 0,005673	Duração da bateria x Tamanho da tela 0,4729
	V	144	132	187	118
	P-value	Duração da bateria x Design 0,5809	Duração da bateria x Ano de lançamento 0,05553	Tamanho da tela x Design 0,7526	Tamanho da tela x Ano de lançamento 0,05967
	V	110	162	96	161
	P-value	Design x Ano de lançamento 0,02104			
	V	174			

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Conforme pode-se verificar, os resultados do teste estatístico indicam a presença de diferenças significativas no diâmetro médio da pupila para algumas combinações de critérios, que estão destacadas em verde. Notavelmente, o critério "Preço" se destaca, revelando diferenças significativas em comparação com todos os demais critérios investigados. Esta descoberta sugere que os participantes com

conhecimento em decisão multicritério dedicaram um esforço perceptual e cognitivo mais substancial ao lidar com decisões relacionadas ao critério "*Preço*".

Esse achado pode ser interpretado à luz da influência do conhecimento prévio em decisão multicritério, competência na língua inglesa e da ponderação atribuída ao critério "*Preço*" no processo decisório para a escolha de *smartphones*. A possível complexidade associada a este critério específico pode ter desencadeado um engajamento cognitivo mais intenso por parte dos participantes, evidenciando a interseção complexa entre conhecimento prévio, características individuais e a natureza dos critérios considerados.

No que concerne à amostra desprovida de conhecimento em decisão multicritério, observa-se uma tendência semelhante às evidências previamente identificadas na amostra mencionada anteriormente, conforme pode-se verificar na Tabela 5. Neste caso, as hipóteses testadas nas comparações pareadas entre as combinações dos critérios foram:

H0: O diâmetro médio da pupila corrigida por *baseline* dos participantes sem conhecimento em decisão multicritério no critério x é semelhante ao diâmetro da pupila no critério y.

H1: O diâmetro médio da pupila corrigida por *baseline* dos participantes sem conhecimento em decisão multicritério no critério x não é semelhante aos diâmetros da pupila no critério y.

Tabela 5 - Teste de *Wilcoxon* para a amostra sem conhecimento em decisão multicritério

Teste de Wilcoxon - Amostra sem Conhecimento				
<b>Amostra sem conhecimento</b>	P-value	Preço x Qualidade da foto 0.1688	Preço x Memória/Armazenamento 0.005673	Preço x Duração da bateria 0.0009294
	V	144	187	201
	P-value	Preço x Tamanho da tela 0.001241	Preço x Design 0.007083	Preço x Ano de lançamento 0.001429
	V	199	185	198
	P-value	Qualidade da foto x Memória/Armazenamento 0.01922	Qualidade da foto x Duração da bateria 0.004508	Qualidade da foto x Tamanho da tela 0.007083
	V	175	189	185
	P-value	Qualidade da foto x Design 0.1602	Qualidade da foto x Ano de lançamento 0.005673	Memória/Armazenamento x Duração da bateria 0.1519
	V	145	187	146
	P-value	Memória/Armazenamento x Tamanho da tela 0.1439	Memória/Armazenamento x Design 0.6204	Memória/Armazenamento x Ano de lançamento 0.07348
	V	147	107	158
	P-value	Duração da bateria x Tamanho da tela 0.3796	Duração da bateria x Design 0.8481	Duração da bateria x Ano de lançamento 0.09534
	V	125	86	154
	P-value	Tamanho da tela x Design 0.9589	Tamanho da tela x Ano de lançamento 0.09534	Design x Ano de lançamento 0.01922
	V	66	154	175

Fonte: Esta pesquisa (2023)

Os resultados do teste estatístico corroboram a existência de diferenças no diâmetro da pupila dos participantes desprovidos de conhecimento em decisão

multicritério, com destaque para os critérios "*Preço*" e "*Qualidade da foto*". Esses achados sugerem que, mesmo na ausência de conhecimento específico sobre tomada de decisão multicritério, certos critérios, como "*Preço*" e "*Qualidade da foto*", provocam respostas neurofisiológicas distintas.

Este padrão pode indicar que, independentemente do nível de expertise na área, certos critérios podem demandar uma carga cognitiva mais intensa, evidenciando a complexidade subjacente na avaliação de determinados aspectos em um contexto de decisão multicritério.

Esses resultados ressaltam a importância de considerar não apenas o conhecimento prévio, mas também a natureza específica dos critérios na análise das respostas neurofisiológicas, enriquecendo assim a compreensão sobre como diferentes fatores podem modular a dinâmica da tomada de decisão.

A queda no tempo de avaliação intracritério pode ser interpretada como uma manifestação de eficiência cognitiva adquirida ao longo do tempo. Este fenômeno sugere que a prática e a experiência desempenham um papel crucial na otimização do processo de avaliação, corroborando a ideia de que a expertise está associada a uma tomada de decisão mais rápida e eficaz.

Relacionando-se a essa eficiência, a dilatação média do diâmetro da pupila também apresentou uma tendência de queda. Esta observação pode ser interpretada à luz da teoria do processamento cognitivo, sugerindo que, à medida que os participantes se tornam mais proficientes na tarefa, o esforço cognitivo diminui, refletindo-se na resposta pupilar. A amostra sem conhecimento demonstrou médias de dilatação menores, indicando uma possível adoção de estratégias de respostas automáticas durante o processo de tomada de decisão.

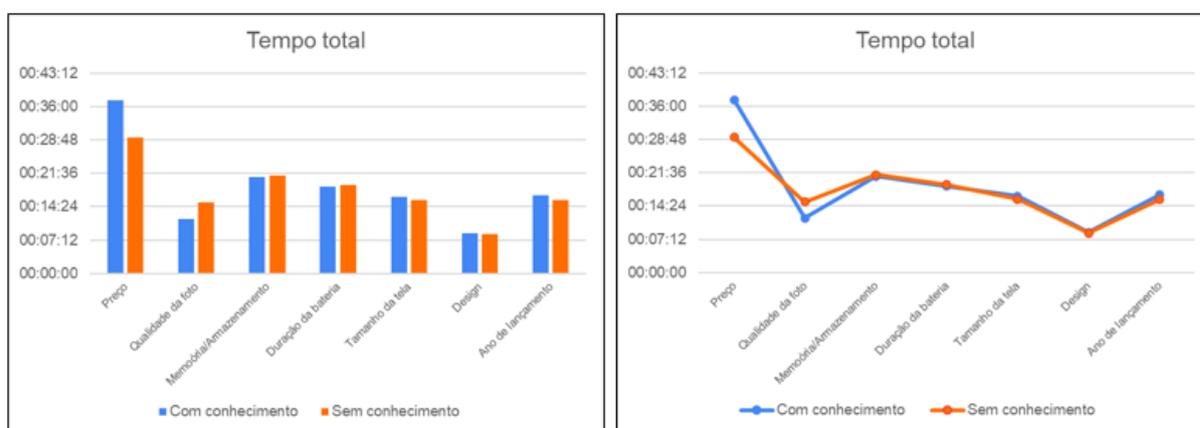
Esses resultados oferecem implicações práticas significativas, destacando a importância do treinamento e da experiência na melhoria da eficácia da tomada de decisão multicritério. Além disso, contribuem para a literatura existente, fornecendo *insights* valiosos sobre os mecanismos neurofisiológicos subjacentes à tomada de decisão em contextos complexos.

### 5.3 ANÁLISE DO TEMPO DE RESPOSTA NOS CRITÉRIOS ENTRE OS GRUPOS

Buscando analisar as questões relacionadas ao tempo de resposta, mediu-se os tempos dispensados por cada amostra para cada critério, à fim de avaliar quanto

tempo foi utilizado para tomar as decisões de escolha até avançar para o próximo critério. O Gráfico 3 representa estes tempos de forma comparativa.

Gráfico 3 - Valores dos tempos absolutos dispensado para a análise intracritério



Fonte: Esta pesquisa (2023)

A análise do tempo dedicado à avaliação dos sete critérios revelou padrões intrigantes e convergentes em ambas as amostras, indicando uma tendência geral de queda no decorrer do processo de decisão multicritério. No tocante ao critério "*Preço*", a amostra com conhecimento em decisão multicritério apresentou um tempo de avaliação superior em comparação com a amostra sem conhecimento. Esta disparidade sugere uma abordagem mais cautelosa ou uma análise mais aprofundada por parte da amostra informada, possivelmente atribuível à consideração detalhada de diversas facetas associadas ao preço.

Contrastando esta descoberta, no critério "*Qualidade da Foto*", a amostra sem conhecimento foi identificada como aquela que demandou mais tempo para a avaliação. Este resultado sugere uma ponderação extensiva ou maior dificuldade na análise da qualidade da foto por parte dos participantes sem conhecimento em decisão multicritério.

Nos demais critérios, as amostras exibiram comportamento semelhante, com uma tendência geral de redução no tempo de avaliação. Essa consistência sugere uma aprendizagem ou adaptação contínua, indicando uma possível assimilação das demandas do processo decisório ao longo do experimento.

A compreensão dessas nuances no tempo dedicado à avaliação dos critérios, considerando a tendência de queda em ambas as amostras, oferece *insights* valiosos sobre a dinâmica evolutiva do processo decisório multicritério e contribui para a

contextualização das respostas dos participantes no cenário proposto. Essa diminuição temporal pode ser interpretada como uma possível adaptação dos participantes ao formato do problema ou uma otimização contínua de estratégias cognitivas à medida que se familiarizam com a complexidade apresentada.

A partir dos resultados encontrados é possível inferir que ambas as amostras possuem tendência de queda no tempo dispensado para concluir a avaliação intracritério do problema proposto. Além disso, esta mesma tendência também é verificada na dilatação média do diâmetro da pupila. Por fim, também foi verificado que embora as duas amostras tenham tendência de queda na média do diâmetro da pupila, a amostra sem conhecimento em decisão multicritério teve médias de dilatações da pupila menores que a amostra com conhecimento em decisão multicritério. Estes resultados foram vistos a partir do que foi discutido neste capítulo, comprovado a partir dos testes estatísticos e também das visualizações gráficas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou analisar as reações neurofisiológicas do diâmetro da pupila dos dois grupos de indivíduos, na qual um possuía conhecimento em decisão multicritério e o outro não possuía o referido conhecimento. Ambos os grupos foram submetidos a resolver um problema de tomada de decisão multicritério no SAD do FITradeoff e enquanto isto os movimentos oculares foram capturados com o apoio do *Eye-tracking*.

As análises dos dados foram realizadas com o auxílio de três softwares, sendo eles: (i) Tobii Studio, (ii) Microsoft Excel 2016 e (iii) Linguagem de programação R no RStudio. A primeira etapa das análises foi a exportação dos dados do Tobii Studio, na sequência com o auxílio do Microsoft Excel 2016 foi realizado a limpeza dos dados, interpolação linear e aplicação dos filtros para eliminar os dados que não eram foco desta investigação. Na sequência, com o apoio da linguagem de programação R, no RStudio, foi feito os testes estatísticos. Por fim, o Excel 2016 foi utilizado para plotar as ilustrações gráficas do comportamento dos tempos médios dispensados e média da dilatação da pupila corrigida por *baseline*.

A partir disto, os resultados do experimento concentraram-se na etapa de avaliação intracritério e a partir de tudo o que foi descrito, foi possível verificar que existe uma tendência de queda no tempo dispensado pelas amostras e também na média da dilatação do diâmetro da pupila esquerda corrigida por *baseline*. Embora ambas as amostras possuam esta tendência de queda, a amostra sem conhecimento em decisão multicritério mostrou uma menor dilatação média da pupila durante esta etapa da resolução do problema.

Esses resultados proporcionaram *insights* valiosos sobre a interação entre o conhecimento prévio em decisão multicritério e as respostas neurofisiológicas dos participantes. A observação da amostra com conhecimento apresentando uma dilatação de pupila corrigida por *baseline* superior sugere um maior esforço cognitivo por parte desse grupo. Este fenômeno pode ser interpretado como uma manifestação do entendimento mais profundo que esses participantes possuem em relação ao problema apresentado, indicando uma abordagem mais deliberada e uma possível estratégia mais elaborada, resultando também em um maior esforço cognitivo.

Contrastando com essa descoberta, a amostra sem conhecimento em decisão multicritério exibiu uma dilatação de pupila corrigida por *baseline* inferior, sugerindo um esforço cognitivo potencialmente menor. Este fenômeno pode ser atribuído à

confusão decorrente da falta de familiaridade com o contexto de decisão multicritério. A hipótese de adoção de estratégias simplificadas por parte desta amostra ganha destaque, revelando uma possível tendência de empregar abordagens mais diretas, na resolução do problema.

Um elemento adicional que se destaca nos resultados é a evidência de um fator de aprendizado. A notável tendência de queda no tempo de resposta e dilatação de pupila corrigida por *baseline* ao longo do experimento indica uma possível adaptação dos participantes à tarefa. Este padrão sugere que, à medida que os participantes avançam no processo decisório, eles tendem a otimizar suas respostas, possivelmente incorporando estratégias mais eficientes à medida que ganham familiaridade com a natureza multicritério do problema.

Com isto, é possível enxergar que os participantes ao ultrapassarem a metade da avaliação intracritério chegam ao marco do processo de aprendizagem, visto que o esforço cognitivo e o tempo médio dispensado diminuem ao passo em que a última etapa da avaliação intracritério chega. Além disso, também é possível que estes resultados estejam associados a uma possível resposta automática dos participantes, podendo estas respostas serem totalmente irracionais, havendo circunstâncias que não estão no controle do decisor. Por fim, é possível que os participantes tenham atingido o entendimento dos botões do *software*, diminuindo assim a carga cognitiva dispensada para responder as perguntas emitidas pelo sistema.

Em conjunto, essas descobertas sublinham a complexidade da interação entre conhecimento, esforço cognitivo e aprendizado no contexto da tomada de decisão multicritério. Esta pesquisa contribui não apenas para o entendimento teórico desses fenômenos, mas também fornece implicações práticas para o design de sistemas de apoio à decisão e abordagens educacionais na formação de decisores.

A partir disto, este trabalho consegue impactar e se relacionar com as investigações dos movimentos oculares dentro do SAD construído para o método FITradeoff. Desta forma, este estudo busca promover o conhecimento sobre o processo neurofisiológico dos decisores, com base no diâmetro médio da pupila, enquanto estes resolvem um problema de decisão multicritério com o auxílio do SAD do FITradeoff.

Além disso, é válido ressaltar que a partir dos resultados encontrados nesta pesquisa, pode-se inferir que a interação entre o analista com o decisor pode ser melhor tratada em problemas decisórios. Isto é visto a partir das questões das

diferentes respostas pupilares entre as amostras, em que uma amostra demanda mais esforço cognitivo e também dispensa análises mais robustas, enquanto a outra é o oposto. Neste sentido, sugere-se que os analistas tomando por base este achado, foque nas suas modelagens que tenham como decisor um indivíduo desprovido de conhecimento em decisão multicritério, para que as respostas automáticas não venham a ser tomadas.

É válido ressaltar que este trabalho possui como limitações a carência de novos participantes, para que a amostra seja ampliada e os testes estatísticos sejam melhores realizados. Além disso, para que seja comprovado a tendência de queda e diminuição do esforço cognitivo dispensado, é imprescindível que as análises compreendam todo o processo de resolução do problema no FITradeoff.

Sugere-se para trabalhos futuros, que outras ferramentas da neurociência sejam utilizadas para comprovar as tendências de queda encontradas nesta pesquisa e também para que os vieses sejam diminuídos. Além disso, novos estudos podem utilizar ferramentas da neurociência como apoio nos estudos de processo decisório à fim de compreender aspectos peculiares ao processo decisório por meio de sinais das ondas cerebrais com o auxílio do EEG, por exemplo. Outras pesquisas poderão analisar, a partir de métodos estatísticos, se existem diferenças nos tempos dispensado pelos participantes durante a resolução do problema no FITradeoff, seja para a etapa de avaliação intracritério, como para as demais etapas de todo o processo de resolução. Para isto, comparações entre os grupos e análises dos critérios para cada amostra, são fundamentais de serem realizadas.

Além disso, novas análises focadas apenas nos elementos interativos do SAD, como os botões, tabelas, gráficos, informações, dentre outros, podem ser objetos de investigação, para entender como acontece o comportamento dos decisores e quais áreas exigiram mais esforço cognitivo dos participantes. Outra sugestão seria a investigação das cores do SAD que estão presentes em todas as etapas, inclusive na etapa de avaliação intracritério.

## REFERÊNCIAS

- ADUNLIN, G.; DIABY, V.; XIAO, H. Application of multicriteria decision analysis in health care: a systematic review and bibliometric analysis. *Health Expectations*, v. 18, n. 6, p. 1894-1905, 2015.
- AGHAJANI BAZZAZI, A. B. B. A. S., OSANLOO, M.; KARIMI, B. A new fuzzy multi criteria decision making model for open pit mines equipment selection. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, v. 28, n. 03, p. 279-300, 2011.
- AIMONE, J. A.; BALL, S.; KING-CASAS, B. It's not what you see but how you see it: Using *Eye-tracking* to study the risky decision-making process. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, v. 9, n. 3-4, p. 137, 2016.
- ALSHARIF, A. H.; MD SALLEH, N. Z.; BAHARUN, R.; HASHEM A. R. Neuromarketing research in the last five years: A bibliometric analysis. *Cogent Business & Management*, v. 8, n. 1, p. 1978620, 2021.
- ALVINO, L. How can we improve consumer behaviour research? A critical literature review on the contributions and the limitations of consumer neuroscience. In: *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA*. 2019. p. 5947-5951.
- ALVINO, L.; CONSTANTINIDES, E.; VAN DER LUBBE, R. H. J. Consumer neuroscience: Attentional preferences for wine labeling reflected in the posterior contralateral negativity. *Frontiers in psychology*, p. 4490, 2021.
- ALVINO, L.; PAVONE, L.; ABHISHTA, A.; ROBBEN, H. Picking your brains: Where and how neuroscience tools can enhance marketing research. *Frontiers in neuroscience*, v. 14, p. 577666, 2020.
- ANDERSON, B. B.; VANCE, A.; KIRWAN, C. B.; EARGLE, D.; JENKINS, J. L. How users perceive and respond to security messages: a NeuroIS research agenda and empirical study. *European Journal of Information Systems*, v. 25, n. 4, p. 364-390, 2016.
- ARIELY, D.; BERNS, G. S. Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business. *Nature reviews neuroscience*, v. 11, n. 4, p. 284-292, 2010.
- BANKS, S. J.; BELLEROSE, J.; DOUGLAS, D.; JONES-GOTMAN, M. Bilateral skin conductance responses to emotional faces. *Applied psychophysiology and biofeedback*, v. 37, p. 145-152, 2012.
- 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*, v. 87, p. 104044, 2021.
- BAULT, N.; WYDOODT, P.; CORICELLI, G. Different attentional patterns for regret and disappointment: An eye-tracking study. *Journal of Behavioral Decision Making*, v. 29, n. 2-3, p. 194-205, 2016.
- BAZERMAN, M. H. *Processo decisório: para cursos de administração e economia*. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2004.
- BAZZANI, A.; RAVAIOLI, S.; TRIESTE, L.; FARAGUNA, U.; TURCHETTI, G. Is EEG suitable for marketing research? A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, v. 14, p. 594566, 2020.

- BECHARA, A.; DAMASIO, H.; DAMASIO, A. R.; LEE, G. P. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of neuroscience*, v. 19, n. 13, p. 5473-5481, 1999.
- BEHE, B. K.; FERNANDEZ, R. T.; HUDDLESTON, P. T.; MINAHAN, S.; GETTER, K. L.; SAGE, L.; JONES, A. M. Practical field use of *Eye-tracking* devices for consumer research in the retail environment. *HortTechnology*, v. 23, n. 4, p. 517-524, 2013.
- BELL, L.; VOGT, J.; WILLEMSE, C.; ROUTLEDGE, T.; BUTLER, L. T.; SAKAKI, M. Beyond Self Report: A Review of Physiological and Neuroscientific Methods to Investigate Consumer Behavior. *Frontiers in Psychology*, v. 9, 2018.
- BELTON, V.; STEWART, T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Berlim: Springer Science & Business Media, 2002.
- BOX, G.; DRAPER, N. Empirical model-building and responses surfaces. New York: Wiley, 1987.
- BUETTNER, R. Investigation of the relationship between visual website complexity and users' mental workload: A NeuroIS perspective. In: *Information Systems and Neuroscience: Gmunden Retreat on NeuroIS 2015*. Springer International Publishing, 2015. p. 123-128.
- CARRASCO, M. Visual attention: The past 25 years. *Vision research*, v. 51, n. 13, p. 1484-1525, 2011.
- CASADO-ARANDA, L. A.; DIMOKA, A.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, J. Consumer processing of online trust signals: a neuroimaging study. *Journal of Interactive Marketing*, v. 47, p. 159-180, 2019.
- CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W. T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert systems with applications*, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013.
- CHERUBINO, P.; MARTINEZ-LEVY, A. C.; CARATÙ, M.; CARTOCCI, G.; DI FLUMERI, G.; MODICA, E.; ROSSI, D.; MANCINI, M.; TRETTEL, A. Consumer behaviour through the eyes of neurophysiological measures: State-of-the-art and future trends. *Computational intelligence and neuroscience*, 2019.
- CHIANG, M. C.; YEN, C.; CHEN, H. L. Does Age Matter? Using Neuroscience Approaches to Understand Consumers' Behavior towards Purchasing the Sustainable Product Online. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11352, 2022.
- DA SILVA, A. B.; GOULART, I. B. Contribuições da Neurociência para a gestão de pessoas. *Opción*, v. 31, n. 1, p. 113-133, 2015.
- DA SILVA, A. L. C. L.; COSTA, A. P. C. S. FITradeoff decision support system: an exploratory study with neuroscience tools. In: *Information Systems and Neuroscience: NeuroIS Retreat 2019*. Springer International Publishing, 2020. p. 365-372.
- 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*, v. 312, n. 2, p. 1147-1169, 2022.
- 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*, p. 1-23, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03894-0>

DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method. *Computers & operations research*, v. 34, n. 12, p. 3569-3574, 2007.

DE ALMEIDA, A. T. *Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério*. 1ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; e GARCEZ, T. V. *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

DE ALMEIDA, A. T.; DE ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. *Central European Journal of Operations Research*, v. 29, p. 7-47, 2021.

DE ALMEIDA, A. T.; ROSELLI, L. R. P.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S. Neuroscience Tools for Group Decision and Negotiation. *Handbook of Group Decision and Negotiation*, p. 315-338, 2021. (a)

DE ALMEIDA, A. T.; ROSELLI, L. R. P. NeuroIS to improve the FITradeoff decision-making process and decision support system. In: *Information Systems and Neuroscience: NeuroIS Retreat 2020*. Springer International Publishing, 2020. p. 111-120.

DE ALMEIDA, A. T.; ROSELLI, L. R. P. Visualization for decision support in FITradeoff method: exploring its evaluation with cognitive neuroscience. In: *Decision Support Systems VII. Data, Information and Knowledge Visualization in Decision Support Systems: Third International Conference, ICDSST 2017, Namur, Belgium, May 29-31, 2017, Proceedings 3*. Springer International Publishing, 2017. p. 61-73.

DE SOUZA, D. G. B.; DOS SANTOS, E. A.; SOMA, N. Y.; DA SILVA, C. E. S. MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review. *Sustainability*, v. 13, n. 21, p. 11626, 2021.

DELL'OVO, M.; FREJ, E. A.; OPPIO, A.; CAPOLONGO, S.; MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria Decision Making for Healthcare Facilities Location with Visualization Based on FITradeoff Method. In: *International Conference on Decision Support System Technology*, pp. 32-44, Springer, 2017.

DEMIREL, N. Ç.; DEMIREL, T.; DEVECI, M.; VARDAR, G. Location selection for underground natural gas storage using Choquet integral. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 45, p. 368-379, 2017.

DIMOKA, A., DAVIS, F. D., GUPTA, A., PAVLOU, P. A., BANKER, R. D., DENNIS, A. R., WEBER, B. On the use of neurophysiological tools in IS research: Developing a research agenda for NeuroIS. *MIS quarterly*, p. 679-702, 2012.

DIMOKA, A.; PAVLOU, P. A.; DAVIS, F. D. Research commentary—NeuroIS: The potential of cognitive neuroscience for information systems research. *Information Systems Research*, v. 22, n. 4, p. 687-702, 2011.

EAGLEMAN, D. *The Brain: A story of you*. New York: Pantheon Books, 2015.

- ETTINGER, U.; KLEIN, C. Eye movements. *Neuroeconomics. Studies in Neuroscience, Psychology and Behavioral Economics*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2016.
- FERREIRA, E. B. Estudo dos movimentos oculares revelados com *Eye-tracking* durante a avaliação holística no método FITradeoff. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- FOSSILE, D. K.; FREJ, E. A.; DA COSTA, S. E. G.; DE LIMA, E. P.; DE ALMEIDA, A. T. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, n. 121107, 2020.
- FRANCO-WATKINS, A. M.; JOHNSON, J. G. Decision moving window: Using interactive eye tracking to examine decision processes. *Behavior research methods*, v. 43, p. 853-863, 2011.
- FRAZÃO, T. D.; CAMILO, D. G.; CABRAL, E. L.; SOUZA, R. P. Multicriteria decision analysis (MCDA) in health care: a systematic review of the main characteristics and methodological steps. *BMC medical informatics and decision making*, v. 18, p. 1-16, 2018.
- FREJ, E. A. Método Multicritério de Elicitação por Tradeoff Interativo e Flexível para a Problemática de Ordenação e para a Tomada de Decisão em Grupo. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.
- FREJ, E. A.; ALMEIDA, A. T. Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos com base no método multicritério FITradeoff. In: *Anais do XLVIII Brazilian Symposium on Operational Research*, Vitória-ES. Rio de Janeiro: SOBRAPO. 2016.
- FREJ, E. A.; EKEL, P.; DE ALMEIDA, A. T. A benefit-to-cost ratio based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. *Information Sciences*, v. 545, p. 487-498, 2021.
- GANGA, G. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção. São Paulo: Atlas, 2012.
- GÊ, M. C. D. O. Estudo do esforço cognitivo na comparação entre o método FITradeoff e o procedimento tradeoff. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- GEBRE, S. L.; CATTRYSSE, D.; ALEMAYEHU, E.; VAN ORSHOVEN, J. Multi-criteria decision making methods to address rural land allocation problems: A systematic review. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 9, n. 4, p. 490-501, 2021.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GILDOF, K.; ANIKIN, A.; LINGONBLAD, M.; WALLIN, A. Looking is buying. How visual attention and choice are affected by consumer preferences and properties of the supermarket shelf. *Appetite*, v. 116, p. 29-38, 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*, v. 306, n. 5695, p. 447-452, 2004.
- GOLDWATER, B. C. Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, v. 77, n. 5, p. 340-355, 1972.

- GOLNAR-NIK, P.; FARASHI, S.; SAFARI, M. S. The application of EEG power for the prediction and interpretation of consumer decision-making: A neuromarketing study. *Physiology & behavior*, v. 207, p. 90-98, 2019.
- GONÇALVES, J. M. S.; DAHER, S. F. D.; MORAIS, D. C. Analysis of GAIA-PROMETHEE visualization using a psychophysiological tool. In: 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). IEEE, 2019. p. 1524-1529, 2019.
- 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.
- GRAHAM, D. J.; JEFFERY, R. W. Predictors of nutrition label viewing during food purchase decision making: An eye tracking investigation. *Public health nutrition*, v. 15, n. 2, p. 189-197, 2012.
- GUIXERES, J.; BIGNÉ, E.; AUSIN AZOFRA, J. M.; ALCANIZ RAYA, M., COLOMER GRANERO, A.; FUENTES HURTADO, F.; NARANJO ORNEDO, V. Consumer neuroscience-based metrics predict recall, liking and viewing rates in online advertising. *Frontiers in psychology*, v. 8, p. 1808, 2017.
- GUL, M.; GUNERI, A. F. Hospital location selection: A systematic literature review on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2021, p. 1-14, 2021.
- GUNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?. *PSIC.: Teor. e pesq.*, Brasília, V. 22, N. 2, P. 201-209, Ago. 2006.
- HAMELIN, N.; AL-SHIHABI, S.; QUACH, S.; THAICHON, P. Forecasting advertisement effectiveness: Neuroscience and data envelopment analysis. *Australasian Marketing Journal*, v. 30, n. 4, p. 313-330, 2022.
- HEEKEREN, H. R.; WARTENBURGER, I.; SCHMIDT, H.; SCHWINTOWSKI, H. P.; VILLRINGER, A. An fMRI study of simple ethical decision-making. *Neuroreport*, v. 14, n. 9, p. 1215-1219, 2003.
- HESS, E. H.; POLT, J. M. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, v. 143, p. 1190-1192, 1964.
- HUNT, L. T.; DOLAN, R. J.; BEHRENS, T. E. Hierarchical competitions subserving multiattribute choice. *Nature neuroscience*, v. 17, n. 11, p. 1613-1622, 2014.
- IZAGUIRRE-TORRES, D.; MÁLAGA-JUÁREZ, J.; CHUQUI-DIESTRA, S. R.; VELÁSQUEZ-CCOSI, P. F.; SICHE, R. La neurociencia en la publicidad de productos agroalimenticios: ¿Una herramienta beneficiosa o un peligro para salud pública?. *Scientia Agropecuaria*, v. 11, n. 4, p. 629-639, 2020.
- KAHNEMAN, D.; BEATTY, J. Pupil Diameter and Load on Memory. *Science*, v. 154, n. 3756, p. 1583–1585, 1996.
- KANG, T. H. A.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Flexible and interactive tradeoff elicitation for multicriteria sorting problems. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, v. 37, n. 05, p. 2050020, 2020.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Decision analysis with multiple conflicting objectives. New York: Wiley & Sons, 1976.

- KHURANA, V.; GAHALAWAT, M.; KUMAR, P.; ROY, P. P.; DOGRA, D. P.; SCHEME, E.; SOLEYMANI, M. A survey on neuromarketing using EEG signals. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, v. 13, n. 4, p. 732-749, 2021.
- KHUSAHABA, 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, B. E.; SELIGMAN, D.; KABLE, J. W. Preference reversals in decision making under risk are accompanied by changes in attention to different attributes. *Frontiers in neuroscience*, v. 6, p. 109, 2012.
- KIM, S. Y.; QI, T.; FENG, X.; DING, G.; LIU, L.; CAO, F. How does language distance between L1 and L2 affect the L2 brain network? An fMRI study of Korean–Chinese–English trilinguals. *NeuroImage*, v. 129, p. 25-39, 2016.
- KORHONEN, P.; WALLENIUS, J. Behavioral issues in MCDM: Neglected research questions. *Multicriteria analysis*. Berlin: Springer, Heidelberg, 412-422, 1997.
- KREJTZ, K.; ZURAWSKA, J.; DUCHOWSKI, A. T.; WICHARY, S. Pupillary and microsaccadic responses to cognitive effort and emotional arousal during complex decision making. *Journal of Eye Movement Research*, v. 13, n. 5, 2020.
- LAENG, B.; SIROIS, S.; GREDEBÄCK, G. Pupillometry: A window to the preconscious?. *Perspectives on psychological science*, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2012.
- LAKATOS, E. M; MARCONI, M. D. A. Fundamentos de metodologia científica. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- LASHGARI, A.; YAZDANI-CHAMZINI, A.; FOULADGAR, M. M.; ZAVADSKAS, E. K.; SHAFIEE, S.; ABBATE, N. Equipment selection using fuzzy multi criteria decision making model: key study of Gole Gohar iron mine. 2012.
- LEE, N.; CHAMBERLAIN, L. Neuroimaging and psychophysiological measurement in organizational research: an agenda for research in organizational cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1118, n. 1, p. 18-42, 2007.
- LINKOV, I.; CORMIER, S.; GOLD, J.; SATTERSTROM, F. K.; BRIDGES, T. Using our brains to develop better policy. *Risk Analysis: An International Journal*, v. 32, n. 3, p. 374-380, 2012.
- MARANDI, R. Z.; SABZPOUSHAN, S. H. Qualitative modeling of the decision-making process using electrooculography. *Behavior research methods*, v. 47, n. 4, p. 1404-1412, 2015.
- MEDEIROS, J. S. Estudo comparativo entre fitradeoff e atividades de cálculo e música utilizando eletroencefalograma (EEG). 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- MICHAEL, I.; RAMSOY, T.; STEPHENS, M.; KOTSI, F. A study of unconscious emotional and cognitive responses to tourism images using a neuroscience method. *Journal of Islamic Marketing*, v. 10, n. 2, p. 543-564, 2019.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elzevir, 2010.

- MONTE, M. B. S.; MORAIS, D. C. A decision model for identifying and solving problems in an urban water supply system. *Water Resour Manag.* v. 33, p. 4835–4848, 2019.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; CALADO, Verônica. *Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros*. Grupo Gen-LTC, 2000.
- MULLER-PUTZ, G. R.; RIEDL, R.; WRIESSNEGGER, S. C. Electroencephalography (EEG) as a research tool in the information systems discipline: Foundations, measurement, and applications. *Communications of the Association for Information Systems*, v. 37, n. 1, p. 46, 2015.
- NERMEND, K. The Implementation of Cognitive Neuroscience Techniques for Fatigue Evaluation in Participants of the Decision-Making Process. *Neuroeconomic and Behavioral Aspects of Decision Making*. Berlin: Springer, Cham, 329-339, 2017.
- PERKHOFER, L.; HOFER, P. Optimizing Scatterplot-Matrices for Decision-Support: An Experimental *Eye-tracking* Study Assessing Situational Cognitive Load. In: *Information Systems and Neuroscience: NeuroIS Retreat 2021*. Springer International Publishing, 2021. p. 63-76.
- PESHKOVSKAYA, A. G.; BABKINA, T. S.; MYAGKOV, M. G.; KULIKOV, I. A.; EKSHOVA, K. V.; HARRIFF, K. The socialization effect on decision making in the Prisoner's Dilemma game: An *Eye-tracking* study. *PloS One*, v. 12, n. 4, p. e0175492, 2017.
- 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.
- POMEROL, J. C.; BARBA-ROMERO, S. *Multicriterion decision in management: principles and practice*. Springer Science & Business Media, 2000.
- RAIESDANA, S.; MOUSAKHANI, M. An EEG-based neuromarketing approach for analyzing the preference of an electric car. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2022, 2022.
- REDISKE, G.; BURIN, H. P.; RIGO, P. D.; ROSA, C. B.; MICHELS, L.; SILUK, J. C. M. Wind power plant site selection: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 148, p. 111293, 2021.
- REUTSKAJA, E.; NAGEL, R.; CAMERER, C. F.; RANGEL, A. Search Dynamics in Consumer Choice under Time Pressure: An *Eye-tracking* Study. *American Economic Review*, v. 101, n. 2, p. 900–926, 2011.
- RESENDE, C. H.; GERALDES, C. A.; JUNIOR, F. R. L. Decision models for supplier selection in industry 4.0 era: A systematic literature review. *Procedia Manufacturing*, v. 55, p. 492-499, 2021.
- RIEDL, R.; DAVIS, F. D.; HEVNER, ALAN R. Towards a NeuroIS research methodology: intensifying the discussion on methods, tools, and measurement. *Journal of the Association for Information Systems*, 15(10), I, 2014.
- ROSELLI, L. R. P. Avaliação de aspectos comportamentais no desenho e análise do FITradeoff com apoio de neurociência em decisão. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

ROSELLI, L. R. P. Uso de neurociência em decisão para modular métodos de decisão multicritério com visualização gráfica e tabular com aplicações no desenho e análise do FITradeoff. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. Investigating graphical visualization in FITradeoff method with neuroscience using EEG and eye-tracker. Local proceedings for group decision and negotiation. In: 19th international conference on group decision and negotiation, Loughborough. 2019.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. The use of the success-based decision rule to support the holistic evaluation process in FITradeoff. International Transactions in Operational Research, v. 30, n. 3, p. 1299-1319, 2023.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. Operational Research, v. 19, p. 933-953, 2019.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. Operational Research, v. 19, p. 933-953, 2019.

ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Neuroscience experiment for graphical visualization in the FITradeoff decision support system. In: Group Decision and Negotiation in an Uncertain World: 18th International Conference, GDN 2018, Nanjing, China, June 9-13, 2018, Proceedings 18. Springer International Publishing, 2018. p. 56-69.

ROSELLI, L. Uso de neurociência em decisão para modular métodos de decisão multicritério com visualização gráfica e tabular com aplicações no desenho e análise do FITradeoff. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Dordrecht: Springer-Science+Business Media, B. V., 1996.

SANFEY, A. G.; LOEWENSTEIN, G.; MCCLURE, S. M.; COHEN, J. D. Neuroeconomics: cross-currents in research on decision-making. Trends in cognitive sciences, v. 10, n. 3, p. 108-116, 2006.

SANFEY, A.G.; RILLING, J.K.; ARONSON, J.A.; NYSTROM, L. E; COHEN, J. P. The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. Science, v. 300, n. 5626, p. 1755-1758, 2003.

SANTOS, V. R. V. Avaliação do efeito do design de embalagens no comportamento do consumidor: um estudo experimental utilizando o eletroencefalograma. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SHI, S. W.; WEDEL, M.; PIETERS, F. G. M. Information acquisition during online decision making: A model-based exploration using *Eye-tracking* data. Management Science, v. 59, n. 5, p. 1009-1026, 2013.

SIMON, H. The New Science of Management Decision. N. J.: Prentice Hall, 1960.

SIROIS, S.; BRISSON, J. Pupillometry. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, v. 5, n. 6, p. 679-692, 2014.

- SLANZI G., BALAZS J., VELÁSQUEZ J. D. Predicting Web user click intention using pupil dilation and electroencephalogram analysis. In: 2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web intelligence (WI). IEEE, p. 417-420, 2016.
- SMIDTS, A. HSU, M. SANFEY, AG. BOKSEM, MA. EBSTEIN, RB. HUETTEL, SA. LIBERZON, I. Avançando na neurociência do consumidor. *Marca. Lett.*, 25 ( 3 ) ( 2014 ), pp. 257 – 267.
- SMITH, D. V.; HUETTEL, S. A. Decision neuroscience: neuroeconomics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, v. 1, n. 6, p. 854-871, 2010.
- STANTON, S. J.; SINNOTT-ARMSTRONG, W.; HUETTEL, S. A. Neuromarketing: Ethical implications of its use and potential misuse. *Journal of Business Ethics*, v. 144, p. 799-811, 2017.
- SÜTTERLIN, B.; BRUNNER, T. A.; OPWIS, K. *Eye-tracking* the cancellation and focus model for preference judgments. *Journal of Experimental Social Psychology*, v. 44, n. 3, p. 904–911, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesp.2007.09.003>
- VECCHIATO, G.; ASTOLFI, L.; FALLANI, F. D. V.; TOPPI, J.; ALOISE, F.; BEZ, F.; WEI, D.; KONG, W.; DAI, J.; CINCOTTI, F.; MATTIA, D.; BABILONI, F. On the use of EEG or MEG brain imaging tools in neuromarketing research. *Computational intelligence and neuroscience*, v. 2011, 2011.
- VELOSO, L. F. Uso do EEG para estudo comparativo entre tradeoff e atividades de cálculo e música. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- VENKATRAMAN, V.; CLITHERO, J. A.; FITZSIMONS, G. J.; HUETTEL, S. A. New scanner data for brand marketers: How neuroscience can help better understand differences in brand preferences. *Journal of consumer psychology*, v. 22, n. 1, p. 143-153, 2012.
- VERGARA, S. C. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- VINCKE, J. P.; BRANS, P. H. A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.
- WANG, L.; CHU, J.; WU, J. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International journal of production economics*, v. 107, n. 1, p. 151-163, 2007.
- WEBER, B.; AHOLT, A.; NEUHAUS, C.; TRAUTNER, P.; ELGER, C. E.; TEICHERT, T. Neural evidence for reference-dependence in real-market-transactions. *Neuroimage*, 35(1), 441-447, 2007.
- WEINERT, C.; MAIER, C.; LAUMER, S. What does the skin tell us about information systems usage? A literature-based analysis of the utilization of electrodermal measurement for IS research. In: *Information Systems and Neuroscience: Gmunden Retreat on NeuroIS 2015*. Springer International Publishing, 2015. p. 65-75.
- WESTBROOK, A.; BRAVER, T. S. Cognitive effort: A neuroeconomic approach. *Cognitive, Affective e Behavioral Neuroscience*, v. 15, n. 2, p. 395-415, 2015.
- XIONG, J.; ZUO, M. What does existing NeuroIS research focus on?. *Information systems*, v. 89, p. 101462, 2020.

- XU, Q.; GREGOR, S.; SHEN, Q.; MA, Q.; ZHANG, W.; RIAZ, A. The power of emotions in online decision making: a study of seller reputation using fMRI. *Decision Support Systems*, v. 131, p. 113247, 2020.
- YADAVA, M.; KUMAR, P.; SAINI, R.; ROY, P. P.; PROSAD DOGRA, D. Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing. *Multimedia Tools and Applications*, v. 76, p. 19087-19111, 2017.
- YAZID, A. F.; MOHD, S. M.; ARK, R. A. K.; KAMARUDIN, S.; JAN, N. M. Decision-making analysis using Arduino-based electroencephalography (EEG): an exploratory study for marketing strategy. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2020.
- YEN, C.; CHIANG, M. C. Examining the effect of online advertisement cues on human responses using *Eye-tracking*, EEG, and MRI. *Behavioural Brain Research*, v. 402, p. 113128, 2021.
- ZHAO, Y.; SIAU, K. Cognitive neuroscience in information systems research. *Journal of Database Management (JDM)*, v. 27, n. 1, p. 58-73, 2016.
- ZHAO, Y.; ZHAO, X.; WANG, L.; CHEN, Y.; ZHANG, X. Does elicitation method matter? Behavioral and neuroimaging evidence from capacity allocation game. *Production and Operations Management*, v. 25, n. 5, p. 919–934, 2016.
- ZOËGA RAMSØY, T.; MICHAEL, N.; MICHAEL, I. A consumer neuroscience study of conscious and subconscious destination preference. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 15102, 2019.
- ZOLFANI, S. H.; AGHDAIE, M. H.; DERAKHTI, A.; ZAVADSKAS, E. K.; VARZANDEH, M. H. M. Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert systems with applications*, v. 40, n. 17, p. 7111-7121, 2013.
- ZYSSET, S.; WENDT, C. S.; VOLZ, K. G.; NEUMANN, J.; HUBER, O.; VON CRAMON, D. Y. The neural implementation of multi-attribute decision making: a parametric fMRI study with human subjects. *Neuroimage*, v. 31, n. 3, p. 1380-1388, 2006.