



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

ANDERSON LUCAS CARNEIRO DE LIMA DA SILVA

**MELHORANDO PROCEDIMENTOS E DESIGN NO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO
DO FITRADEOFF USANDO FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA**

Recife

2021

ANDERSON LUCAS CARNEIRO DE LIMA DA SILVA

**MELHORANDO PROCEDIMENTOS E DESIGN NO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO
DO FITRADEOFF USANDO FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA**

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

Área de concentração: Gerência da Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- S586m Silva, Anderson Lucas Carneiro de Lima da.
Melhorando procedimentos e design no sistema de apoio a decisão do FITradeoff usando ferramentas de neurociência / Anderson Lucas Carneiro de Lima da Silva. - 2021.
131 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.
Inclui Referências.
1. Engenharia de Produção. 2. Decisão multicritério. 3. Sistema de Apoio a Decisão. 4. Método FITradeoff. 5. Neurociência em decisão. 6. *Eye tracking*. 7. Eletroencefalograma. I. Costa, Ana Paula Cabral Seixas (Orientadora). II. Almeida, Adiel Teixeira de (Coorientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-47

ANDERSON LUCAS CARNEIRO DE LIMA DA SILVA

**MELHORANDO PROCEDIMENTOS E DESIGN NO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO
DO FITRADEOFF USANDO FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA**

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

Aprovada em: 24/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Danielle Costa Moraes (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Eduarda Asfora Frej (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Nei Yoshihiro Soma (Examinador Externo)
Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Prof^a. Dr^a. Mariana Rodrigues de Almeida (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

No Senhor nos movemos e existimos (At. 17:28). Tudo vêm dEle e o que recebemos de Suas próprias mãos Lhe damos (1Cr.24:14). Sou grato a Deus pela bondade e misericórdia que me seguem todo dia e devo a Ele a conquista do doutorado (Sl.23:6). Estou certo que, ao longo de toda a minha jornada até a conquista do título de doutor, o Senhor esteve com Suas mãos estendidas sobre mim, dando-me forças, sabedoria e inteligência. Sou grato também pelas pessoas que Ele pôs em meu caminho nesta jornada as quais cito a seguir.

Aos meus pais, Zezito e Keila, que desde os meus primeiros dias de vida têm sido referência de quem Deus é e do Seu amor, sempre me instruindo no caminho da sabedoria. Eles são meu consolo nos dias difíceis e meus melhores amigos para os momentos alegres. Incentivo constante para os estudos, o suporte deles foi fundamental para que eu chegasse aqui. Essa vitória é deles também.

À minha irmã, Juliane, minha companhia e melhor amiga. Foi pelo exemplo dela que decidi ingressar na carreira científica e foram seus conselhos que me ajudaram a me desenvolver e progredir. Grande como pesquisadora e maior ainda como pessoa, sei que minha irmã é um presente muito especial de Deus em minha vida.

Aos meus tios-avós, Ivonete, Ivanilda, Jairson e Jair que sempre me deram suporte e força, não só nessa jornada do doutorado, mas em todas as etapas da minha vida. E, em memória, aos meus tios-avós, Ivone, Iraci e Dário, que me acompanharam no começo dessa jornada, mas agora desfrutam da eternidade com o Pai. O testemunho deles me estimula à fidelidade e perseverança às coisas de Deus para que um dia eu possa os reencontrar na Glória.

À minha orientadora, professora Ana Paula, com quem aprendi muito. Suas orientações, conselhos e exemplo me permitiram chegar aqui como alguém melhor, não só pelo título conquistado, mas, principalmente, pela pessoa que me tornei. Sei que ainda tenho muito que aprender e crescer e sempre me lembrarei dela.

Ao meu coorientador, professor Adiel, outra referência para mim. Grande pessoa e profissional, ele sempre esteve me ensinando e investindo em mim. Sou grato por seus esforços e sei foram essenciais para que eu crescesse nessa jornada.

Aos meus amigos de laboratório com quem compartilhei momentos especiais desde o mestrado. As trocas que tive com todos foram muito especiais e fundamentais para que eu pudesse vencer.

Ao PPGEP por todo o suporte para que este título fosse alcançado. A visão estratégica somada aos esforços e empenho de todos os que fazem parte, desde os professores até aqueles que trabalham na secretaria são fundamentais para que o programa seja referência no Brasil e no mundo e é um privilégio ter concluído o doutorado nesse programa. Sou grato a todos.

Por fim, porém, não menos importante, à Capes e ao CNPq pelo suporte para a condução de toda a pesquisa referente a esta tese.

RESUMO

Problemas de decisão multicritério são bastante comuns em contextos organizacionais e costumam estar associados a questões estratégicas. Esses problemas, contudo, apresentam desafios específicos em relação a outros. Vários métodos e procedimentos foram desenvolvidos ao longo dos anos, a exemplo do *tradeoff*, ELECTRE e PROMETHEE, a fim de apoiar os decisores em tais contextos. Neste estudo, buscou-se avaliar a consistência durante o processo de elicitación de preferência no contexto compensatório, por meio do FITradeoff. Implementado em um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), o FITradeoff é um método que incorpora os avanços recentes na área para melhorar a consistência na elicitación das preferências do decisor. No entanto, algumas questões permanecem em aberto. Dois experimentos foram realizados, contando com amostras com perfis distintos. No primeiro, alunos de graduação e pós-graduação e Engenharia de Produção resolveram problemas de interesse próprio desenvolvidos por cada um. Já no segundo, alunos de graduação em Administração com menor conhecimento em métodos multicritério resolveram um problema padrão de escolha de smartphone. Nesses experimentos, ferramentas neurocientíficas foram aplicadas, *Eye Tracking* e Eletroencefalograma, a fim de complementar os achados e avaliar as questões cognitivas evocadas durante a elicitación de preferência e sua relação com a consistência. Fatores como o número de critérios, de alternativas de decisão e de questões e o tipo de critério predominante presente nos problemas foram incorporados às análises. Os resultados indicaram o crescimento da complexidade ao longo das etapas do FITradeoff. A utilização dos dados neurofisiológicos mostrou ainda haver relação ainda entre o tipo de critério predominante e o esforço cognitivo e engajamento, com destaque para os problemas classificados como qualitativos, nos quais foram observados baixo esforço e alto engajamento. Além disso, o maior número de critérios e questões foram negativamente relacionados ao esforço cognitivo e engajamento. Isso indica que os decisores adotaram estratégias para conservar seus recursos cognitivos quanto maiores as demandas e a complexidade da situação. Com base nesses resultados, recomendações para melhorar o processo de tomada de decisão e o design do SAD em termos de layout são feitas a fim de melhorar a experiência do decisor.

Palavras-chave: Decisão multicritério. Sistema de Apoio a Decisão. Método FITradeoff. Neurociência em decisão. *Eye tracking*. Eletroencefalograma.

ABSTRACT

Multi-Criteria Decision-Making/Aiding problems are quite common in organizational contexts and are often associated with strategic issues. Such problems, however, present specific challenges in relation to others. Several methods and procedures have been developed over the years, as tradeoff, ELECTRE and PROMETHEE, in order to support decision makers (DMs) in such contexts. In this study, we sought to assess consistency during the preference elicitation process in the compensatory context, using FITradeoff. Implemented in a Decision Support System (DSS), FITradeoff is a method that incorporates recent advances in the area in order to improve consistency when eliciting a DM's preferences. Nevertheless, some issues remain unresolved. Two experiments were carried out, with samples with different profiles. In the first, undergraduate and graduate students and Management Engineering solved problems developed by each one. In the second, undergraduate Business Administration students with less knowledge of multicriteria methods solved a standard smartphone choice problem. In these experiments, neuroscience tools were applied, Eye Tracking and Electroencephalogram, in order to complement the findings and evaluate the cognitive issues evoked during the preference elicitation and their relationship with consistency. Factors such as the number of criteria, of decision alternatives, and of questions and the type of the predominant criterion present in the problems were incorporated into the analysis. The results indicated the increase in complexity over the FITradeoff steps. The use of neurophysiological data showed there was a relationship between the type of the predominant criterion and cognitive effort and engagement, with emphasis on the problems classified as qualitative in which low effort and high engagement were observed. Moreover, the higher number of criteria and questions were negatively related to cognitive effort and engagement. This indicates that the DMs adopted strategies to conserve their cognitive resources the greater the demands and complexity of a situation was. Based on these results, recommendations for improving the decision-making process and the design of the DSS in terms of layout are made in order to improve a DM's experience.

Keywords: Multi-criteria decision making/aiding. Decision Support System. FITradeoff method. Decision neuroscience. Eye tracking. Electroencephalogram.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da tese.	25
Figura 2 - Ordenação dos critérios no SAD do FITradeoff.	28
Figura 3 – Exploração do espaço de consequências no SAD do FITradeoff.	29
Figura 4 – Elicitação flexível no SAD do FITradeoff.	31
Figura 5 – Visualização gráfica no SAD do FITradeoff.	32
Figura 6 – Avaliação de inconsistências no SAD do FITradeoff.	34
Figura 7 – Recomendação de decisão no SAD do FITradeoff.	34
Figura 8 – Fluxograma do SAD do FITradeoff.	36
Figura 9 – Ferramentas neurofisiológicas. A: EEG; B:fMRI; C: MEG; D: Eye Tracking; E:SCR; F: ECG.	38
Figura 10 – Tempo gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média ± erro padrão).	61
Figura 11 – Tempo de resposta gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média ± erro padrão).	61
Figura 12 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média ± erro padrão).	62
Figura 13 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 1 (média ± erro padrão).	67
Figura 14 – Dilatação da pupila corrigida por baseline durante a Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro padrão).	73
Figura 15 – Dilatação da pupila corrigida por baseline durante a Etapa 4 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro padrão).	75
Figura 16 – Interação entre o tipo de critério predominante e o número de alternativas de questões na Etapa 4 com o tamanho da pupila na Etapa 4 no Experimento 1 (média ± erro padrão).	76
Figura 17 – Potência da banda teta no canal P7 na Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro médio).	77
Figura 18 – Interação entre o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios com a potência teta no canal O2 na Etapa 4 no Experimento 1 (média ± erro padrão).	81

Figura 19 – Interação entre o tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4 e o número de critérios com potência teta no canal AF4 na Etapa 4 no Experimento 1 (média ± erro padrão).	82
Figura 20 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro médio).	83
Figura 21 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 3 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro médio).	84
Figura 22 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 4 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média ± erro médio).	86
Figura 23 – Interação entre o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios com assimetria frontal alfa para o par de canais F7 / F8 na Etapa 4 no Experimento 1 (média ± erro médio).	86
Figura 24 – Tempo gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).	90
Figura 25 – Tempo de resposta gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).	91
Figura 26 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).	92
Figura 27 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).	93
Figura 28 – Tempo de resposta em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 2 (média ± erro padrão).	95
Figura 29 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 2 (média ± erro padrão).	96
Figura 30 – Diferença da assimetria frontal alfa no par F8/F8 entre problemas com e sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).	99

Figura 31 – Diferença da assimetria frontal alfa no par F8/F8 entre problemas com e sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).	100
Figura 32 – Dilatação de pupila corrigida por baseline entre problemas com até 5 perguntas e acima de 5 perguntas na Etapa 5 (média \pm erro padrão).....	102
Figura 33 – Assimetria frontal alfa no par F8/F7 entre problemas com até 5 perguntas e acima de 5 perguntas na Etapa 4 no Experimento 2 (média \pm erro médio).	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos trabalhos na área de decisão em um contexto geral e neurociência.....	45
Tabela 2 – Resumo dos trabalhos na área de decisão multicritério e neurociência.	47
Tabela 3 – Resumo dos trabalhos na área sistemas de informação e neurociência.....	48
Tabela 4 – Síntese do estado da arte e posicionamento deste trabalho.	50
Tabela 5 – Variáveis consideradas nesse trabalho e seus significados.....	54
Tabela 6 – Número de problemas de decisão em função do número de critérios no Experimento 1.	56
Tabela 7 – Número de problemas de decisão em função do número de alternativas no Experimento 1.....	57
Tabela 8 – Número de problemas de decisão em função do tipo predominante de critério no Experimento 1.....	57
Tabela 9 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 2 no Experimento 1.....	59
Tabela 10 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 3 no Experimento 1.....	59
Tabela 11 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 4 no Experimento 1.....	60
Tabela 12 – Relação da potência da banda teta entre as etapas do SAD do FITradeoff no Experimento 1.....	63
Tabela 13 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas de FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canais F8-F7 e F4-F3 no Experimento 1.....	64
Tabela 14 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas FITradeoff no Experimento 1.....	65
Tabela 15 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 1.....	65
Tabela 16 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 1.....	66
Tabela 17 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 1.....	66

Tabela 18 – Diferença na potência teta entre problemas com ou sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1.....	68
Tabela 19 – Diferença na potência teta entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 1.....	69
Tabela 20 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre problemas com ou sem inconsistências entre as etapas do SAD do FITradeoff para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 1.....	69
Tabela 21 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 1.....	70
Tabela 22 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 2 no Experimento 1.....	71
Tabela 23 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 3 no Experimento 1.....	71
Tabela 24 – ANOVA para o tipo de critério predominante, número de perguntas na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 4 no Experimento 1.....	72
Tabela 25 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 2 no Experimento 1.....	72
Tabela 26 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 3 no Experimento 1.....	73
Tabela 27 – ANOVA para o tipo de critério predominante, número de perguntas na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 4 no Experimento 1.....	74
Tabela 28 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 2 no Experimento 1.....	77
Tabela 29 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 3 no Experimento 1.....	79
Tabela 30 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com o poder da banda teta na Etapa 4 no Experimento 1.....	80

Tabela 31 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 2 no Experimento 1.....	83
Tabela 32 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 3 no Experimento 1.....	84
Tabela 33 – ANOVA para o tipo de critério, número de questões na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 4 no Experimento 1.	85
Tabela 34 – Matriz de consequências do experimento 2.....	88
Tabela 35 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 4 no Experimento 2.....	90
Tabela 36 – Relação da potência da banda teta entre as etapas do SAD do FITrdeoff no experimento 2.	92
Tabela 37 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas de FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canais F8-F7 e F4-F3 no experimento 2.	93
Tabela 38 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas FITradeoff no Experimento 2.....	94
Tabela 39 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 2.....	94
Tabela 40 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 2.....	95
Tabela 41 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 2.....	96
Tabela 42 – Diferença na potência teta entre problemas com ou sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2.	97
Tabela 43 – Diferença na potência teta entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 2.	98
Tabela 44 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre problemas com ou sem inconsistências entre as etapas do SAD do FITradeoff para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 2.	98

Tabela 45 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 2.	100
Tabela 46 – P-valor para a potência da banda teta na Etapa 4 no Experimento 2.....	102
Tabela 47 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 2 no Experimento 1.....	103
Tabela 48 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito ao processo de elicitación de preferências.	105
Tabela 49 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito à consistência no processo.....	107
Tabela 50 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito ao número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério.	110
Tabela 51 – Matriz de consequências do problema.....	119
Tabela 52 – Ordem das constantes de escala dos critérios do problema.	120
Tabela 53 – Consequências e respostas fornecidas na Etapa 3 do problema.	121
Tabela 54 – Consequências e respostas fornecidas na Etapa 4 do problema.	122

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA.....	21
1.2	RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	22
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivo Específicos	23
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1.1	O método FITradeoff.....	26
2.1.2	Neurociência, Decisão e Sistemas.....	37
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
2.2.1	Estudos com o Método FITradeoff.....	40
2.2.2	Neurociência em Decisão em um Contexto Geral.....	41
2.2.3	Neurociência em Decisão no Contexto Multicritério.....	45
2.2.4	Neurociência em Sistemas de Informação.....	47
2.3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO ...	48
3	EXPERIMENTOS COM NEUROCIÊNCIA PARA COMPREENSÃO DOS ASPECTOS COGNITIVOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O FITRADEOFF	51
3.1	EXPERIMENTOS DE NEUROCIÊNCIA	51
3.1.1	Procedimento de execução dos experimentos.....	51
3.1.2	Equipamentos e Materiais	52
3.1.3	Participantes.....	54

3.1.4	Variáveis de Estudo	54
3.2	EXPERIMENTO 1 – USO DO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO DO FITRADEOFF POR PARTICIPANTES DO PERFIL 1	55
3.2.1	Desenho do experimento	55
3.2.2	Características dos Problemas de Decisão	56
3.2.3	Análise do processo	58
3.2.4	Análise de Consistência	64
3.2.5	Influência do número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério	70
3.2.6	Considerações Finais	87
3.3	EXPERIMENTO 2 – USO DO SISTEMA DE APOIO A DECISÃO DO FITRADEOFF POR PARTICIPANTES DO PERFIL 2	87
3.3.1	Desenho do experimento	88
3.3.2	Características dos Problemas de Decisão	89
3.3.3	Análise do Processo	89
3.3.4	Análise de Consistência	94
3.3.5	Influência do número de perguntas	101
3.3.6	Considerações Finais	104
3.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	104
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
4	INSIGHTS PARA MELHORIA DO PROCESSO DE ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O FITRADEOFF E APLICAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES	115
4.1	INSIGHTS PARA A INTERAÇÃO ENTRE ANALISTA E DECISOR E MELHORIAS NO SAD	115
4.2	APLICAÇÃO DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES	118

4.2.1	Descrição do Problema	118
4.2.2	Aplicação das Recomendações	120
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	124
5.1	CONCLUSÕES.....	124
5.2	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	126
	REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

Problema de decisão multicritério é um tipo de problema muito comum no dia a dia das pessoas. De maneira geral, tais problemas podem ser definidos como problemas nos quais múltiplas alternativas de decisão devem ser avaliadas, levando em consideração mais de um objetivo. Os objetivos, no entanto, são muitas vezes conflitantes entre si, tornando esses tipos de problema complexos (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA et al., 2015). Um exemplo consiste no problema de compra de um smartphone no qual, muitas vezes, o decisor procura uma opção que seja barata, porém com boa configuração (capacidade de armazenamento interno e resolução das câmeras são alguns exemplos). Contudo, conforme se pode facilmente observar, nem sempre a opção com melhor configuração é a de menor preço.

Dentro das organizações, problemas de decisão multicritério são comumente associados a decisões estratégicas de alto impacto, envolvendo questões financeiras e de política corporativa, aumentando ainda mais a responsabilidade sobre tais decisões as quais acarretam consequências significativas. Considerando ainda que tais problemas são recorrentes nesses ambientes e que os decisores nem sempre dispõem de tempo para se envolver na compreensão do problema, a necessidade um suporte ao processo decisório se torna mais evidente.

Diante disso, diversos métodos e sistemas de apoio a decisão (SADs) têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, com foco no fornecimento de uma abordagem estruturada aos decisores. Tais métodos e SADs buscam, portanto, tornar o processo decisório mais fácil e racional, gerando recomendações de decisão a partir de informações de preferência coletadas dos decisores. Destaca-se ainda que em tais contextos, a atuação de um analista de decisão é muitas vezes essencial, sendo ele responsável por fornecer suporte metodológico aos decisores, auxiliando o decisor na escolha do método e SAD mais adequado, bem como, na construção do modelo de decisão e no melhor entendimento do processo de elicitação de preferências (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA et al., 2015).

Apesar disso, alguns desafios persistem, especificamente, no que diz respeito à manutenção da racionalidade do decisor durante o processo de elicitação de preferências e sua satisfação com o SAD e a recomendação dada. Espera-se que o processo seja conduzido de tal forma que a interação do decisor com o sistema seja eficaz e leve a recomendações de decisão que reflitam adequadamente suas reais preferências. Portanto, o processo de elicitação precisa ser

cognitivamente acessível, a fim de evitar fadiga e garantir que o decisor permanecerá engajado e capaz de fornecer informações de preferência que sejam consistentes. Além disso, sistemas que requerem muita informação e tempo do decisor podem não ser adequados em ambientes organizacionais, uma vez que são tipicamente caracterizados por alta dinâmica e necessidade de respostas rápidas.

No contexto de problemas de decisão multicritério, existem várias opções de métodos e sistemas que, apesar da sua estrutura e racionalidade, apresentam problemas e limitações que fazem com que não sejam recomendados em muitos contextos. De maneira geral, os problemas de decisão multicritério podem ser classificados como problemas compensatórios e não compensatórios. Enquanto que no primeiro grupo se tem problemas nos quais um baixo desempenho em um dado critério é compensado pelo bom desempenho em outro critério, sendo isso bem incorporado na família dos métodos ELECTRE e PROMETHEE, nos problemas com racionalidade não compensatória isso não acontece (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA et al., 2015). Aqui, os métodos classificados como compensatórios se destacam, sendo que muitos problemas reais envolvem racionalidade compensatória, tornando assim os métodos que os suportam de significativa relevância. Em tais métodos e SADs nos quais são implementados, entretanto, o processo de elicitacão é frequentemente complexo e tedioso, o que pode causar uma alta taxa de erro (SALO; HÄMÄLÄINEN, 1992). Um exemplo é o procedimento *tradeoff*, que apesar de possuir uma forte estrutura axiomática (KEENEY; RAIFFA, 1976), exige grande esforço cognitivo do decisor, implicando assim em altas taxas de inconsistências nas respostas conforme relatado em estudos na literatura (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991; WEBER; BORCHERDING, 1993). Inconsistências são um problema sério, pois representam uma contradição nas preferências do decisor e colocam em questão a validade da soluçãõ.

Assim, estudos comportamentais envolvendo métodos e SADs no contexto multicritério se tornam relevantes, investigando os aspectos cognitivos associados no processo de elicitacão de preferências bem como na interaçãõ do decisor com o SAD e com o analista de decisãõ. Várias técnicas e ferramentas, portanto, podem ser utilizadas com o destaque para o uso recente da neurociência em associaçãõ a abordagem tradicional da área de decisãõ. Aqui, destacam-se as áreas de decisãõ e de sistemas de informaçãõ que associadas à neurociência têm feito uso de ferramentas tais como EEG (eletroencefalograma), *Eye Tracking*, fMRI, entre outras a fim de

gerar dados neurofisiológicos associados ao processo de decisório, viabilizando análises mais completas sobre esforço cognitivo, engajamento, estresse e fadiga. Com isso, obtêm-se valiosos *insights* que permitem promover melhorias.

FITradeoff é um método multicritério implementado em um SAD que é baseado no procedimento de *tradeoff*, herdando, assim, sua forte estrutura axiomática. No entanto, embora o *tradeoff* exija informações de preferência completas, isto é, relações de indiferença precisam ser definidas durante o processo de elicitación, o método FITradeoff não. Isso ocorre porque ele apresenta uma abordagem flexível e interativa que requer apenas informações parciais do decisor. Como consequência, há uma redução no esforço cognitivo demandado e no tempo necessário para resolver os problemas e, portanto, há uma melhora na consistência (DE ALMEIDA et al., 2016). A partir de uma estimativa Bayesiana, é esperado que o método apresente uma taxa de inconsistência de aproximadamente 5%, valor este significativamente baixo se comparado ao de outros métodos e procedimentos tais como: *tradeoff*, 67%; *SWING*, 50%; e *ratio*, 30% (WEBER; BORCHERDING, 1993). O método FITradeoff tem sido usado em muitas aplicações práticas nos mais diferentes contextos, como indústria, energia e saúde (KANG et al. 2018; CAMILO et al., 2020; DELL’OVO et al., 2017; FOSSILE et al., 2020; FREJ et al., 2017; GUSMÃO; MEDEIROS, 2016; DE MACEDO et al. 2018; PERGHER et al., 2020). Tais melhorias são resultados de estudos comportamentais desenvolvidas ao longo de anos no que diz respeito ao efeito do impacto de uma alta complexidade demandada sobre a consistência no processo de elicitación de preferências.

Apesar disso, algumas questões permanecem em aberto sobre o método e o SAD associado no que diz respeito ao papel de variáveis relevantes no processo decisório, a exemplo do número de alternativas de decisão, critérios no problema e perguntas feitas ao longo do processo de elicitación. Assim, este trabalho se propõe a analisar os principais fatores que influenciam a consistência no fornecimento de informações de preferência do decisor por meio do método FITradeoff. O esforço cognitivo exigido durante o processo de elicitación de preferências foi avaliado, considerando diferentes questões que surgiram em problemas de decisão resolvidos em dois experimentos utilizando ferramentas da neurociência. Em um deles, estudantes de nível de graduação e pós-graduação na área de Engenharia de Produção resolveram problemas de decisão multicritério desenvolvidos por cada um, utilizando um SAD no qual o método FITradeoff foi implementado. Duas ferramentas de neurociência foram utilizadas, a saber: EEG e *Eye Tracking*.

Os dados de 49 participantes foram aproveitados para as análises feitas. No outro experimento, estudantes de graduação em Administração resolveram um problema multicritério padrão de escolha de smartphone, fazendo uso do mesmo SAD com o método FITradeoff e das mesmas ferramentas de neurociência. Aqui, foram aproveitados os dados de 28 participantes para as análises. Com esses experimentos, procurou-se aprofundar o conhecimento sobre o processo de elicitación de preferências no contexto de métodos compensatórios e SADs relacionados, usando FITradeoff para buscar *insights* que podem ser usados para melhorar a experiência do decisor em tais contextos.

1.1 Justificativa

Sendo o processo decisório no contexto multicritério muitas vezes complexo e envolvendo problemas recorrentes de alto impacto estratégico, o uso de uma abordagem estruturada para apoiar a tomada de decisão é uma boa alternativa para evitar decisões que não reflitam as reais preferências do decisor e, assim, consequências danosas. Nesse sentido, estão os modelos de decisão, que requerem o devido cuidado com sua construção, correndo o risco de gerar recomendações de decisões inadequadas, ou que levam ao desenvolvimento de uma experiência frustrante com o decisor. No contexto da racionalidade compensatória, uma das etapas cruciais desse processo é a elicitación das preferências para definição das constantes de escala, que muitas vezes pode exigir tempo além do disponível e alto nível de esforço cognitivo. Vários métodos foram propostos para simplificar o processo, usando informações parciais para obter uma recomendação e reduzindo inconsistências geradas por abordagens mais complexas, a exemplo do método FITradeoff o qual é implementado em um SAD. Avaliar, no entanto, a eficácia de tais métodos e sistemas associados, nem sempre é simples e pode ser limitada pelo tipo de dado e método usado para a análise.

Portanto, o presente trabalho se propõe a avaliar os aspectos cognitivos associados ao processo de elicitación com uso do SAD no qual o FITradeoff foi implementado, fazendo uso, para isso, de ferramentas de neurociência. O FITradeoff foi desenvolvido incorporando recentes avanços na área oriundos de estudos comportamentais desenvolvidos ao longo de anos, entretanto, alguns aspectos relacionados a variáveis tais como o número de perguntas, número de critérios e tipo de critério predominante ainda apresentam questionamentos. Portanto, o

FITradeoff e o SAD ao qual é incorporado representam uma ótima oportunidade para o desenvolvimento desse estudo que visa, através dos resultados obtidos, gerar recomendações de melhoria para o método e SAD associado, bem como do processo de interação decisor com analista de decisão. Ressalta-se que os *insights* obtidos através desse estudo, se expandem para outros métodos e SADs, viabilizando melhorias em diversos contextos. Ganha, assim, toda a sociedade através da disponibilização de conhecimento aplicável a métodos e SADs utilizados, entre outros ambientes, naqueles de organizações, permitindo o aumento da competitividade e eficiência destas e, assim, geração de riqueza.

1.2 Relevância Do Trabalho

A relevância do presente trabalho pode ser observada pela utilização de uma abordagem que integra dados neurofisiológicos para avaliar os aspectos comportamentais gerados pelo uso do método FITradeoff. Níveis de esforço cognitivo, atenção e engajamento servem para testar hipóteses sobre o desempenho do FITradeoff e a influência de variáveis com as quais o decisor interage ao longo do processo de elicitación de preferências.

O uso de tal abordagem integrativa tem ganhado destaque em muitas outras áreas, tais como, economia e marketing, dados os valiosos *insights* que os dados neurofisiológicos fornecem em complemento aos tradicionais dessas áreas de pesquisa. Na área de decisão em geral, os achados têm sido promissores, direcionando muitos esforços, contudo, no que diz respeito a decisão multicritério, o número de pesquisas ainda é reduzido. Esse trabalho, portanto, vem contribuir para a geração de conhecimento na área de neurociência em associação a área de decisão multicritério.

Por fim, destaca-se ainda que estudos voltados para o aprimoramento dos métodos de elicitación de preferências e SADs se tornam de grande valor, permitindo o fornecimento de ferramentas que melhoram o suporte à decisão nos vários contextos organizacionais, bem como nos problemas multicritério do dia a dia. O FITradeoff tem esse potencial, e o estudo realizado aqui objetivou entender melhor o método e direcionar esforços para o seu aprimoramento.

1.3 Objetivos Do Trabalho

A seguir, são apresentados os objetivos deste trabalho, dividindo em objetivo geral e objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é propor melhorias para o processo decisório no contexto da racionalidade compensatória a partir da identificação dos aspectos comportamentais presentes no processo de elicitación de preferências por meio de um SAD no qual o FITradeoff é implementado, avaliando o impacto do número de perguntas feitas ao longo do processo de elicitación, número de critérios do problema e tipo predominante de critério sobre o desempenho do decisor.

1.3.2 Objetivo Específicos

São objetivos específicos:

- a) Desenvolver e aplicar experimentos que integram EEG e *Eye Tracking* com o SAD no qual o FITradeoff é implementado;
- b) Integrar dados neurais sobre potência das bandas cerebrais com os dados de dilatação de pupila durante o processo de elicitación usando o FITradeoff;
- c) Avaliar como os níveis de esforço cognitivo, atenção, interesse e engajamento se alteram durante o processo decisório usando o FITradeoff e em função de variáveis relevantes no processo, a saber: número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério;
- d) Gerar recomendações de melhoria para o método FITradeoff e o SAD associado, bem como, para o processo de interação entre decisor e analista de decisão a partir dos resultados obtidos;
- e) Mostrar o uso das recomendações estabelecidas em aplicações desenvolvidas com o FITradeoff.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em 5 capítulos da seguinte forma:

No capítulo I, tem-se a introdução com a apresentação das motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho, bem como a relevância e os objetivos, tanto geral quanto específicos.

O capítulo II, por sua vez, traz os fundamentos teóricos relevantes nesse trabalho, apresentando o método FITradeoff e SAD associado, além de conceitos referentes a neurociência, decisão e sistemas de informação. Ainda nesse capítulo, é feito o mapeamento do estado da arte através de um resumo dos principais trabalhos desenvolvidos sobre o método FITradeoff e na área da neurociência, focados em problemas de decisão geral, decisão multicritério e sistemas de informação. Finaliza-se, então, com a síntese do estado da arte e posicionamento do presente trabalho.

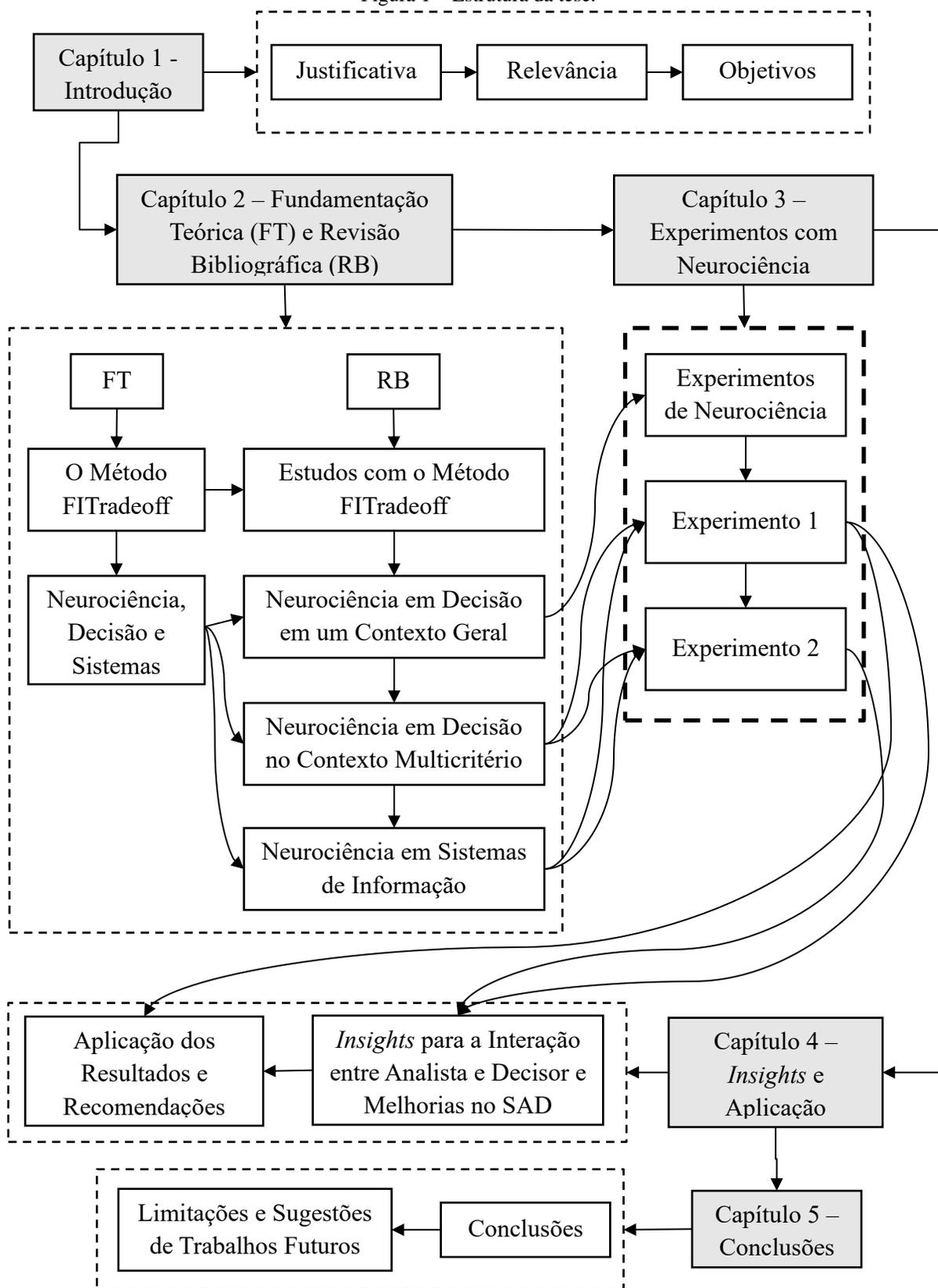
O capítulo III traz os resultados de dois experimentos realizados com a aplicação do SAD do FITradeoff os quais são discutidos e comparados. Para tanto, são, inicialmente, apresentadas as características gerais dos experimentos conduzidos, sendo, em seguida, feita a apresentação das características peculiares. Variáveis pertinentes ao processo de elicitación de preferências são discutidas e relacionadas nesse capítulo a fim de se obter *insights* para a melhoria do processo decisório no contexto multicritério.

Por sua vez, o capítulo IV traz recomendações e sugestões de melhoria a partir dos resultados obtidos para o processo de interação entre decisor, analista e sistema de apoio a decisão. A aplicação dessas recomendações em contextos envolvendo o FITradeoff é feita também a fim de evidenciar a contribuição do trabalho.

Por fim, o capítulo V apresenta as conclusões, discutindo as implicações dos resultados obtidos, limitações, direcionamentos e propostas para estudos futuros.

A Figura 1 a seguir traz a representação da estrutura desta tese, indicando as relações entre os capítulos e seções.

Figura 1 – Estrutura da tese.



Fonte: O Autor (2021).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta inicialmente os fundamentos teóricos dos tópicos relevantes neste trabalho, valendo-se, para isso, de trabalhos relevantes nas áreas abordadas. Em seguida, vem a apresentação do estado da arte, abordando pesquisas desenvolvidas com o método FITradeoff e que integram neurociência com decisão e sistemas de informação. Por fim, é apresentado o posicionamento deste trabalho, indicando como se diferencia e o *gap* que pretende cobrir.

2.1 Fundamentação Teórica

A apresentação da base conceitual utilizada neste trabalho é dividida em dois tópicos: no primeiro, são mostrados e discutidos detalhes do método FITradeoff e do SAD no qual ele é implementado, como também, alguns conceitos relacionados; já no segundo, é feita uma abordagem sobre os temas neurociência, decisão e sistemas.

2.1.1 O método FITradeoff

Vários métodos multicritério estão disponíveis para dar suporte a decisores nos mais diversos contextos. Roy (1985) classifica tais métodos de três maneiras: métodos de critério único de síntese; métodos de sobreclassificação; e métodos interativos. No primeiro grupo, também chamados de métodos compensatórios, estão os modelos de agregação aditiva em que cada alternativa recebe um valor global. Este valor é obtido conforme Equação (2.1):

$$v(A_i) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ji}) \quad (2.1)$$

onde k_j é a constante de escala normalizada do critério j conforme Equação (2.2):

$$\sum_{j=1}^m k_j = 1; k_j \geq 0 \quad (2.2)$$

e $v_j(x_{ji})$ é a função de valor intracritério que define o valor da alternativa i no critério j .

Nestes casos, a definição das constantes de escala é uma etapa crucial, pois se definida incorretamente, terá um impacto negativo na recomendação feita, uma vez que esta recomendação não refletirá as preferências do decisor.

O método FITradeoff proposto por de Almeida et al. (2016) concentra-se na definição dessas constantes de escala e na construção de modelos de agregação aditiva. Implementado em um SAD, o FITradeoff apresenta uma abordagem interativa e flexível que requer menos esforço cognitivo do decisor, uma vez que apenas informações de preferência estrita são suficientes para o método encontrar uma recomendação satisfatória para o decisor.

À medida que o decisor fornece informações de preferência, inequações que reduzem o espaço de pesos φ são formadas e incorporam um modelo de problema de programação linear que testa a potencial otimalidade das alternativas de decisão que serão selecionadas para integrar um conjunto X de alternativas potencialmente ótimas. Durante cada interação, as alternativas do conjunto X recebem valores como (2.1) dentro do espaço de pesos e sua potencial otimalidade é testada. Uma alternativa é considerada potencialmente ótima se o valor obtido for maior ou igual a todas as outras alternativas simultaneamente para pelo menos um vetor de pesos dentro de φ . Se o resultado for único, há uma recomendação. Caso contrário, o conjunto X é atualizado com as alternativas identificadas pelo modelo como potencialmente ótimas. O processo é repetido sempre que o decisor fornecer novas informações.

Implementado em um SAD, o processo FITradeoff começa quando os dados do problema são inseridos por meio de uma planilha (Etapa 1). É nesta etapa que ocorre a avaliação intra-critério. A próxima etapa consiste na ordenação dos critérios (Etapa 2) (consulte a Figura 2). Nesta etapa, é apresentada uma consequência hipotética em que os critérios do problema apresentam pior desempenho. O SAD solicita que o decisor especifique qual critério ele deseja melhorar ao nível máximo desempenho (considerando o conjunto original de alternativas de decisão). Isso é feito, um de cada vez, em ordem de prioridade, até que todos os critérios sejam ordenados. No final desta etapa, a relação conforme Equação (2.3) é obtida.

$$k_1 \geq k_2 \geq \dots k_{m-1} \geq k_m \quad (2.3)$$

Essa relação passa a fazer parte do modelo de programação linear que testa o potencial de otimalidade das alternativas de decisão que compõem o conjunto X . Se alguma alternativa do conjunto X for dominada, o conjunto será atualizado e o processo continuará. Deve ser observado que ao final desta etapa, há a possibilidade de que uma solução seja encontrada para o problema de decisão e o processo é finalizado com uma recomendação de decisão. No entanto, no experimento realizado neste trabalho, o processo ainda não acabou.

Figura 2 - Ordenação dos critérios no SAD do FITradeoff.

The screenshot shows the 'Criteria Ranking' step in the FITradeoff software. The interface includes a title bar with 'FITradeoff for Neuro Experiments, code FN-TIENO-CT1' and a menu bar with 'Open...', 'Reset problem', 'New problem', 'Help', and 'Exit'. The main content area is titled 'Criteria Ranking' and contains the following text: 'Consider a hypothetical alternative, with the worst performance in all criteria.' Below this is a bar chart titled 'Consequence of a hypothetical alternative' showing five criteria (Crit1 to Crit5) with values ranging from 4.7 to 950. The text on the right asks the user to choose one criterion to improve to its maximum value. Below the text is a list of criteria with radio buttons and a 'Choose' button.

Criteria	Value
Crit1	5139
Crit2	8
Crit3	15
Crit4	10
Crit5	4.7

Criteria Ranking:

- Crit1: Price (R\$)
- Crit2: Camera (MP)
- Crit3: Memory/Storage (GB)
- Crit4: Battery (hours)
- Crit5: Screen Size (inches)

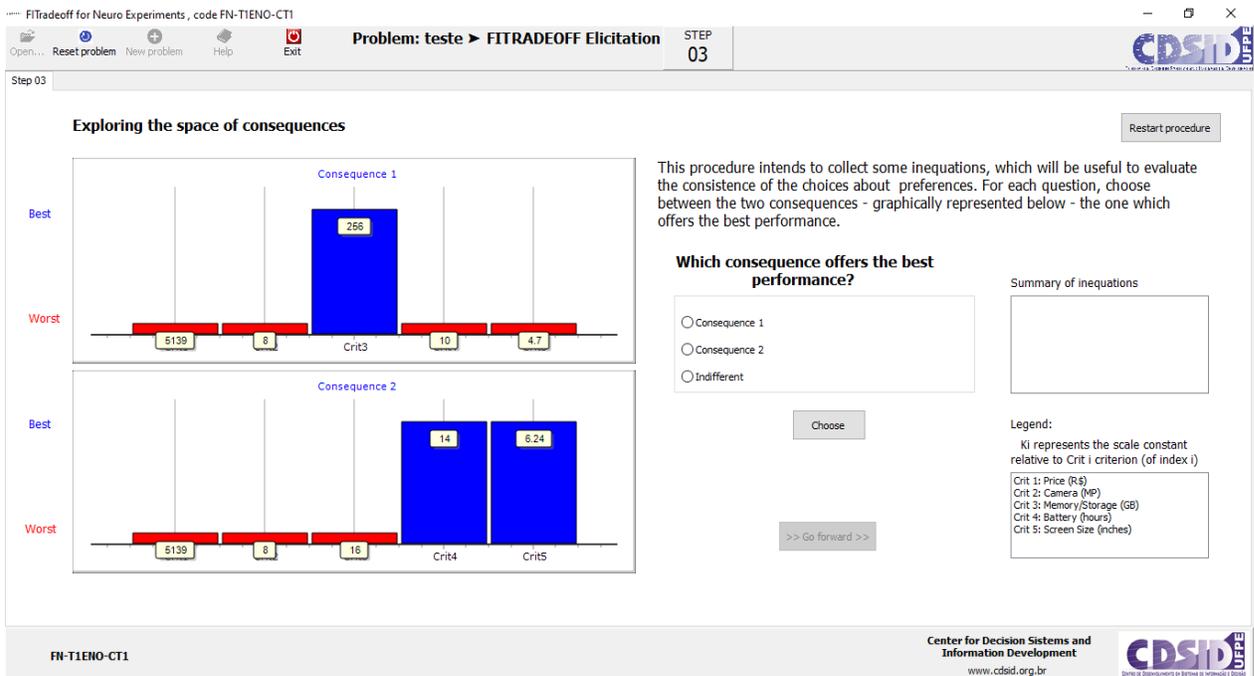
Fonte: O Autor (2021).

A próxima etapa é a exploração do espaço de consequências (Etapa 3) (ver Figura 3) em que consequências hipotéticas são comparadas duas de cada vez. Essa é uma etapa incluída no SAD para viabilizar o teste de inconsistências. Por meio de tal etapa, é feita a introdução de redundância de informação, sendo uma forma de testar inconsistências nos experimentos realizados. Deste modo que, nesse estudo, boa parte das inconsistências observadas devem ocorrer justamente na etapa de exploração do espaço de consequências, e não no processo de elicitação do FITradeoff propriamente o qual não é composto pela Etapa 3. Para o objetivo desse estudo que visou analisar os aspectos cognitivos relacionados, isso foi algo desejável, embora, em situações reais, a taxa de inconsistências do FITradeoff seja bem menor, algo em torno de 5% conforme estimativa Bayesiana, sendo, portanto, inferior ao de outros métodos e procedimentos cujas taxas chegam a 67% no *tradeoff*, 50% no *SWING* e 30% no *ratio* (WEBER; BORCHERDING, 1993). A principal razão para isso é que o FITradeoff usa informação parcial para a obtenção de uma recomendação de decisão. Aqui, na Etapa 3, as consequências são apresentadas de tal forma que a primeiro apresenta pior desempenho em todos os critérios, exceto um, enquanto o segundo, o pior desempenho em todos os critérios, exceto dois, sendo estes dois critérios diferentes do critério com desempenho máximo na primeira consequência. Uma série de perguntas é feita até que todos os critérios sejam avaliados, três de cada vez, e estes, adjacentes entre si, com exceção à primeira pergunta em que os critérios comparados são o primeiro com os

dois últimos da Etapa da ordenação. A cada interação, o decisor fornece informações de sua preferência estrita ou indiferença entre os pares de consequências apresentados. A partir das respostas, equações ou inequações são formadas de acordo com a Equação (2.4) a fim de integrar o modelo de programação linear ao final do processo e testar inconsistências nas respostas do decisor, antes de apresentar a recomendação de decisão. Aqui, portanto, o conjunto X não é atualizado. Ressalta-se que essa é uma etapa à qual a maioria das inconsistências estão associadas, sendo inserida apenas nesse experimento para fins de testes e análises. Deste modo, a real taxa de inconsistência associada ao processo de elicitação do FITradeoff é baixa e menor que nesse estudo.

$$k_a[< > =]k_b + k_c; a \neq b \neq c \quad (2.4)$$

Figura 3 – Exploração do espaço de consequências no SAD do FITradeoff.



Fonte: O Autor (2021).

Depois disso, há a elicitação flexível (Etapa 4) (ver Figura 4) que só ocorre se uma solução para o problema não for encontrada no final da Etapa 1. Semelhante ao que ocorre na Etapa 2, a cada interação, duas consequências hipotéticas são apresentadas ao decisor, que deve fornecer informações sobre sua estrita preferência, indiferença ou pode optar por não responder a

pergunta. Nesta etapa, no entanto, as comparações são feitas com dois critérios de cada vez. Na primeira consequência, um critério é apresentado com desempenho entre o máximo e o mínimo e os outros com desempenho mínimo. A segunda consequência, por outro lado, tem um critério com desempenho máximo e os outros com desempenho mínimo. Mais uma vez, com exceção à primeira pergunta que compara o primeiro com o último critério, nos demais casos, critérios adjacentes são comparados. As respostas fornecidas permitem reduzir o espaço de peso em que o potencial de otimalidade das alternativas é testado usando o modelo de programação linear conforme a Equação (2.5) a seguir. A primeira linha indica a função objetivo que busca maximizar o valor global de cada alternativa de decisão i . A primeira restrição (terceira linha) representa a relação entre as constantes de escala obtidas por meio da etapa de ordenação. As duas restrições seguintes são obtidas por meio da elicitacão flexível a partir da comparação de consequências hipotéticas, sendo x'_j maior que x''_j . O potencial de otimalidade da alternativa i é garantido pela quarta restrição do modelo, de modo que, se dada alternativa i não apresentar uma solução viável, a mesma é eliminada do processo. Por sua vez, se para a mesma há solução viável, ela é mantida como uma alternativa potencialmente ótima. Por fim, as duas últimas restrições indicam que os valores das constantes de escala são normalizados e positivos.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{k_1, k_2, \dots, k_m} \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ji}), j = 1, 2, \dots, m \\
 & \text{s. a} \\
 & k_1 \geq k_2 \geq \dots \geq k_{m-1} \geq k_m \\
 & k_j v_j(x'_j) \geq k_{j+1} \\
 & k_j v_j(x''_j) \geq k_{j+1} \\
 & \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{ji}) \geq \sum_{j=1}^m k_j v_j(x_{jz}), z = 1, 2, \dots, n; i \neq z \\
 & \sum_{j=1}^m k_j = 1 \\
 & k_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Figura 4 – Elicitação flexível no SAD do FITradeoff.

Obtaining the Scale Constants

The step 4 of the elicitation process consists in a sequence of questions about preferences. This step's purpose is to settle consequences which create a scenario of indifference. Criteria defined by verbal scales are depicted by an interval scale. Please, answer the following question for each pair of consequences showed:

Consequence A	Consequence B
C1: X1: 136	W1: 16, B1: 256
C2: W2: 8, B2: 12	W2: 8, B2: 12
C3: W3: 5139, B3: 950	W3: 5139, B3: 950
C4: W4: 10, B4: 14	W4: 10, B4: 14
C5: W5: 4.7, B5: 6.24	W5: 4.7, B5: 6.24

Which consequence offers the best performance?

Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer

Buttons: Choose, Show Current Results, Stop Elicitation

Potentially optimal alternatives: A1, A2

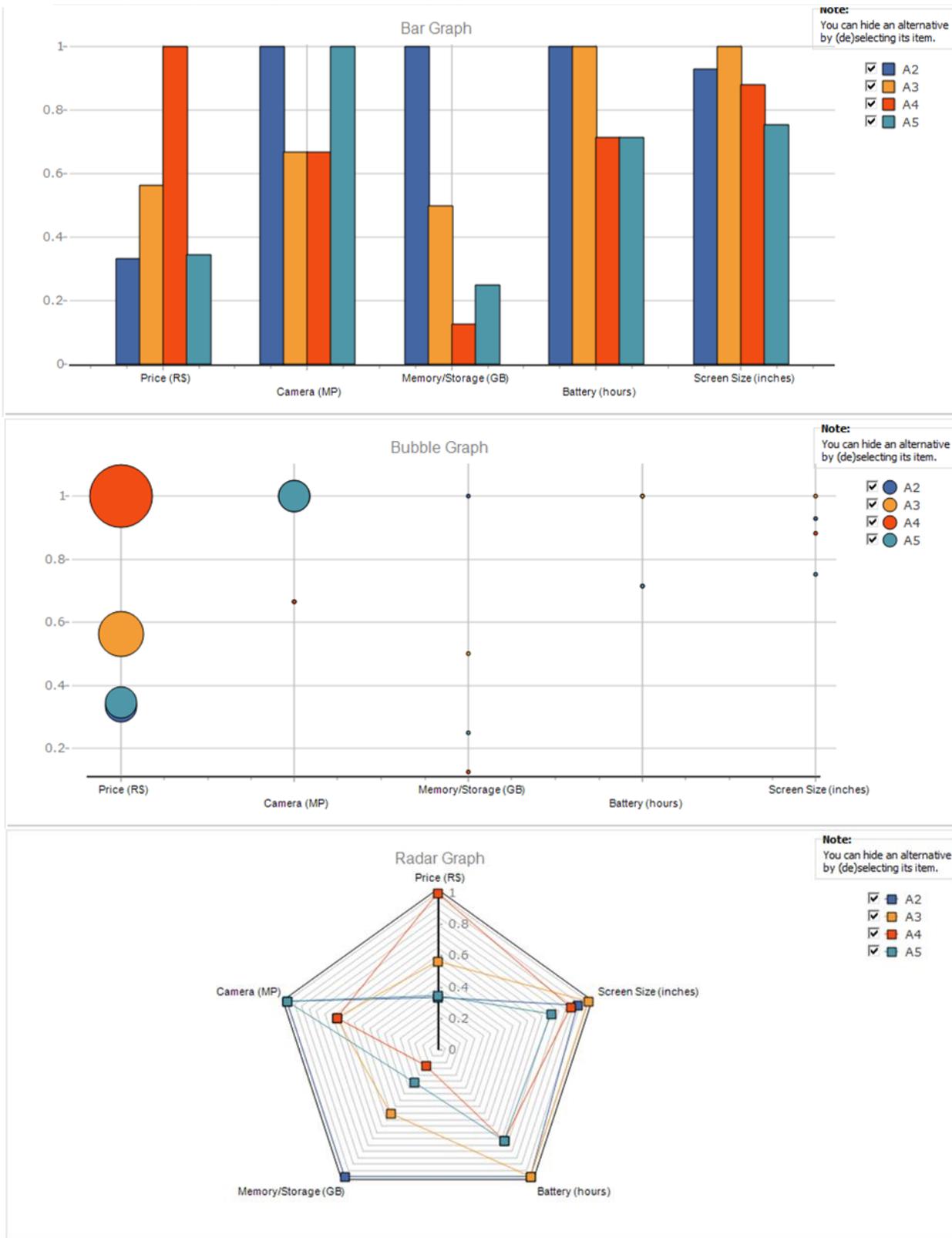
Legend:
 Ki represents the scale constant relative to Crit i criterion (of index i)
 Crit 1: Memory/Storage (GB)
 Crit 2: Camera (MP)
 Crit 3: Price (R\$)
 Crit 4: Battery (hours)
 Crit 5: Screen Size (inches)

Buttons: Restart procedure, >> Go forward >>

Fonte: O Autor (2021).

Nesta etapa, o decisor tem à sua disposição o conjunto atualizado X e pode verificar o desempenho das alternativas nos critérios do problema observando três representações gráficas: um gráfico de barras, um gráfico de bolhas e um gráfico de radar (ver Figura 5). Todas essas representações gráficas trazem a mesma informação para o decisor que opta por aquela ou aquelas com as qual ou as quais se sinta mais confortável para realizar uma avaliação holística das alternativas potencialmente ótimas. Cada alternativa é apresentada em uma cor, sendo o desempenho nos critérios normalizados.

Figura 5 – Visualização gráfica no SAD do FITradeoff.



Fonte: O Autor (2021).

No final da Etapa 4, um teste de inconsistência é realizado incorporando (4) ao modelo de programação linear. Cada desigualdade é adicionada uma de cada vez e, se não houver solução, uma inconsistência é identificada. Depois disso, eles são apresentados ao decisor na Etapa 5 (ver Figura 6) e três opções são fornecidas: (i) alterar preferências; (ii) reiniciar o processo de elicitación; e (iii) continuar. Se o decisor escolher a primeira opção, ele permite que as correções sejam feitas em (2.4) de modo que não haja inconsistências. O decisor é então levado à recomendação de decisão (Etapa 6) (ver Figura 7). Já se o decisor escolher a segunda opção, ele concorda em refazer a Etapa 4 e, portanto, fornecerá novas informações de preferência para evitar inconsistências. Se inconsistências forem observadas novamente, o decisor é levado novamente para a Etapa 5, caso contrário, ele vai para a Etapa 6. Se a escolha for pela terceira opção, o decisor concorda em continuar com as inconsistências e é levado para a Etapa 6.

Essas últimas etapas não foram foco desse estudo, sendo que análises futuras deverão incorporar elas. Conforme mencionado anteriormente, espera-se que boa parte das inconsistências observadas nesse tipo de construção do SAD estejam relacionadas à Etapa 3 (Exploração do Espaço de Consequências), que foi introduzida com esta finalidade. O SAD em que o FITradeoff está implementado está disponível mediante solicitação aos autores em www.fitradeof.org. Trata-se da versão padrão do SAD que não inclui as mudanças feitas para o experimento nesse estudo e comentadas.

Figura 6 – Avaliação de inconsistências no SAD do FITradeoff.

Verifying Inconsistencies

There are inconsistencies in your answers!

There are maybe some inconsistencies in the pair of consequences number: **2;**

What do you want to do?

- Option 1: change preferences
- Option 2: restart elicitation process
- Option 3: continue

Choose

Legend:

- Crit 1: Price (R\$)
- Crit 2: Camera (MP)
- Crit 3: Memory/Storage (GB)
- Crit 4: Battery (hours)
- Crit 5: Screen Size (inches)

Option 1:
Question 2

In the last steps you answered that Consequence 1 was **more preferred** than Consequence 2.

Now, you can change your preferences, so that: Consequence 1 should be **less preferred** than Consequence 2.

Option 2:
You can repeat the Step 4 to review your answers in the Scale Constants' Elicitation Process. The calculus of the results will be done again, then new inconsistencies might appear.

Option 3:
Continue the process with this inconsistency.

Consequence	Crit 1 (Price)	Crit 2 (Camera)	Crit 3 (Memory/Storage)	Crit 4 (Battery)	Crit 5 (Screen Size)
Consequence 1	5139	12	16	10	4.7
Consequence 2	950	8	16	14	4.7

Fonte: O Autor (2021).

Figura 7 – Recomendação de decisão no SAD do FITradeoff.

Numeric Results

	Maximum Value	Memory/Storage (GB)	Camera (MP)	Price (R\$)	Battery (hours)	Screen Size (inches)	K(Memory/Storage (GB))	K(Camera (MP))	K(Price (R\$))
Smartphone 1	1.0000	256	12	5139	12	5.8	1.0000	0.0000	0.0000

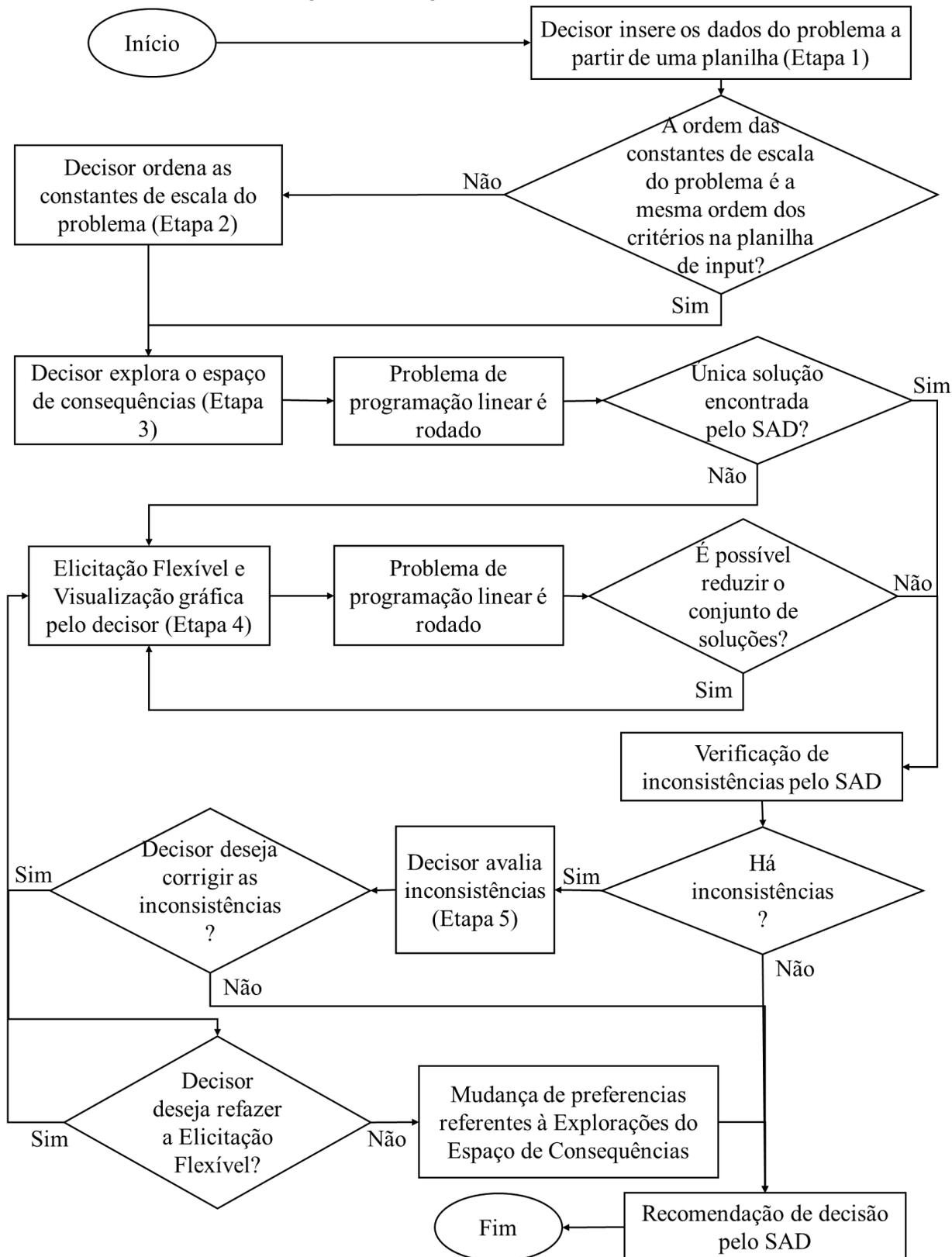
View Graph Back to Elicitation Export Results

Go Forward >>

Fonte: O Autor (2021).

O fluxograma do software do FITradeoff usado nesse experimento é apresentado a seguir na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do SAD do FITradeoff.



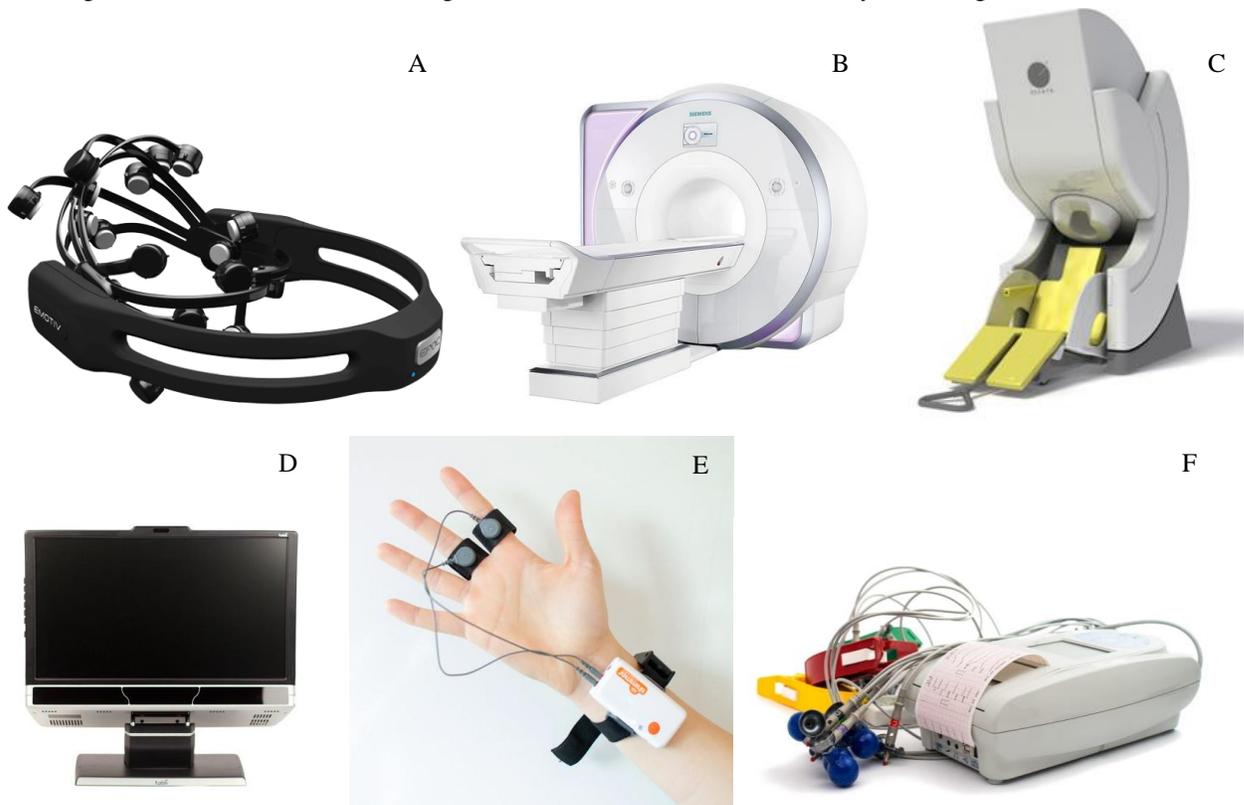
2.1.2 Neurociência, Decisão e Sistemas

A busca pelo progresso científico com a descoberta de novos resultados e aplicações que tragam benefícios para a sociedade tem levado a ciência a percorrer novos caminhos constantemente. Um exemplo consiste na integração da neurociência, com suas técnicas, ferramentas e conhecimentos, com outras áreas do conhecimento diversas. As áreas de decisão e de sistemas de informação são alguns exemplos que têm se beneficiado de tal integração permitindo explorar novos horizontes e obter *insights* valiosos. O interesse por essa integração é explicado, dentre outras coisas, pelo fato dos dados obtidos com as técnicas e ferramentas da neurociência serem complementares aos tradicionais de cada área, ampliando a visão dos pesquisadores na busca por soluções a problemas, sejam eles novos ou antigos (DIMOKA et al., 2012; DIMOKA; PAVLOU; DAVIS, 2011).

O cérebro é o órgão mais complexo do corpo humano, sendo constituído por cerca de 100 bilhões de neurônios, tendo, cada um, conexões com cerca de 10.000 outros neurônios com os quais estabelece comunicação através de sinais eletroquímicos (MÜLLER-PUTZ; RIEDL; WRIESSNEGGER, 2015). Toda essa complexidade é responsável por uma série de processos cognitivos os quais direcionam em comportamentos, decisões e ações (GLIMCHER; RUSTICHINI, 2004). A neurociência, por sua vez, na busca pela compreensão do cérebro e demais componentes do sistema nervoso desenvolveu ferramentas capazes de avaliar os mais diversos aspectos, tanto em termos de precisão temporal ou espacial. De maneira geral, as ferramentas de neurociência podem ser divididas em: ferramentas de imagem cerebral; e ferramentas psicofisiológicas (DIMOKA et al., 2012). São exemplos do primeiro grupo: Eletroencefalografia (EEG) (Figura 9A), *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) (Figura 9B), e Magnetoencefalografia (MEG) (Figura 9C). Todas essas ferramentas coletam dados obtidos diretamente do cérebro, medindo respectivamente: atividade neural por meio de mudanças no fluxo sanguíneo cerebral; a atividade elétrica do cérebro através do couro cabeludo; e mudanças nos campos magnéticos decorrentes da atividade cerebral. Com relação ao segundo grupo de ferramentas, tem-se como exemplos: *Eye Tracking* (Figura 9D), *Skin Conductance Response* (SCR) (Figura 9E), e Eletrocardiograma (ECG) (ver Figura 9F). Tais ferramentas, diferente daquelas do primeiro grupo, coletam dados psicofisiológicos, a saber: movimento ocular, suor nas glândulas écrinas das palmas das mãos ou pés e atividade elétrica do coração

através da pele, respectivamente. Vale ressaltar que todas as medidas obtidas com tais ferramentas são fora do controle das pessoas e isso representa uma vantagem em termos de pesquisa. Ao contrário de dados de medidas autorrelatadas, os dados da neurociência não podem ser manipulados pelos participantes e são livres de vieses. Além disso, muitos desses dados permitem obter respostas as quais o participante seja incapaz de fornecer ou não queira por meio de técnicas tradicionais de pesquisas (DIMOKA et al., 2012).

Figura 9 – Ferramentas neurofisiológicas. A: EEG; B:fMRI; C: MEG; D: Eye Tracking; E:SCR; F: ECG.



Fonte: A: <https://www.emotiv.com/epoc/>; B: <http://levita-lab.group.shef.ac.uk/fmri/>; C: <https://www.froedtert.com/epilepsy/diagnostics/magnetoencephalography>; D: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-tx300/>; E: <https://imotions.com/blog/skin-conductance-response/>; F: <https://telemedicinamorsch.com.br/blog/aparelho-de-eletrocardiograma>

Na área de decisão, o interesse tem sido pela compreensão dos aspectos subjacentes a decisões nos mais diversos contextos, sejam decisões simples de compra a decisões mais complexas envolvendo diversos atributos. Aqui, destacam-se as áreas *Consumer Neuroscience*, *Neuromarketing* e *Neuroeconomics* que, embora possuam um escopo maior, abrangem aspectos relativos a decisão. A área de sistemas de informação é outra que tem se aproveitado da

neurociência em suas investigações, formando o *NeuroIS*. Nesse último, o foco é o desenvolvimento de sistemas mais facilmente adotáveis, estratégias de desenvolvimento e implementação de sistemas de informação em ambientes organizacionais e aprimoramento de ferramentas online. A partir da compreensão dos aspectos cognitivos e suas relações com construtos de sistemas de informação, torna-se mais fácil alcançar os objetivos da área de *NeuroIS*. Em ambos os casos, não só novos questionamentos têm sido levantados e investigados como outros antigos tem achado nas pesquisas com neurociência a possibilidade de serem respondidas (DIMOKA et al., 2012).

Vale ressaltar que, apesar de tais benefícios e vantagens da integração com a neurociência, algumas ressalvas devem ser feitas. As ferramentas de neurociência são comumente caras, tornando inviável a sua ampla adoção, além disso, o processo de coleta de tratamento de dados tende a ser bastante longo e exaustivo, demandando, assim, ampla dedicação e tempo dos pesquisadores. Ainda com relação à coleta de dados, a estrutura utilizada nos experimentos com ferramentas de neurociência tende a criar um cenário artificial com impacto nas respostas fornecidas pelos participantes. Por fim, nem sempre um tipo de dado é suficiente para responder a uma questão de pesquisa, pelo que se estimula a triangulação de várias fontes a fim de se aumentar a segurança nas pesquisas. Todos esses aspectos levam a consideração de que a integração com a neurociência só deve ser feita quando as técnicas e ferramentas tradicionais forem insuficientes para o que se pretende investigar e que, quando necessário, a integração deve ser acompanhada por preparo dos pesquisadores e esforço.

2.2 Revisão Bibliográfica

Nesta seção é feita uma apresentação dos principais trabalhos associados a esta tese. Inicialmente, são mostradas aplicações do método FITradeoff e estudos envolvendo o mesmo. Em seguida, têm-se os estudos que usam abordagens de neurociência no contexto de decisão em geral, decisão multicritério e sistemas de informação.

2.2.1 Estudos com o Método FITradeoff

Dadas a suas características e vantagens, o método FITradeoff tem sido amplamente utilizado nos mais diversos contextos. Estudos com aplicações do método têm sido publicados em periódicos internacionais, evidenciando a praticidade e utilidade do método. Um exemplo é o trabalho de Frej et al. (2017) no qual o método FITradeoff foi aplicado para a construção de um modelo de decisão para seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos multinacional localizada no estado de Pernambuco. Tendo como decisor o gerente do departamento de compras da empresa, sete critérios foram definidos, os quais incluíram aspectos financeiros, de qualidade e de processo, para se avaliar cinco fornecedores potenciais. Em outro exemplo de aplicação, o trabalho de de Macedo et al. (2018) se propuseram a construir um modelo de decisão para um problema de substituição de motor em uma indústria química multinacional localizada no estado do Paraná. O método FITradeoff foi utilizado para a obtenção de um plano de substituição que atendesse os padrões mínimos exigidos pela Lei de Eficiência Energética Brasileira. O gerente industrial foi o decisor do problema no qual 20 alternativas de decisão foram avaliadas a partir de sete critérios. Já no trabalho de Alvarez Carrillo et al. (2018) o método FITradeoff foi aplicado no contexto agrícola. Visando resolver um problema de seleção de pacotes de tecnologia agrícola para um produtor de milho no estado de Sinaloa no México, seis critérios foram estabelecidos e cinco alternativas foram avaliadas. Já no estudo de Monte & Morais (2019), o método FITradeoff foi aplicado em conjunto com o método VFT no contexto de gerenciamento de recursos hídricos na cidade de Olinda no estado de Pernambuco. O sistema de abastecimento local foi avaliado a partir de um modelo proposto que integrou os dois métodos citados, tendo o gerente de operações como o decisor do problema.

Mais recente ainda, tem-se o trabalho de Pergher et al. (2020) no contexto de decisões de sequenciamento da produção no qual foi feita a aplicação do método FITradeoff integrado com simulação de evento discreto a fim de se obter uma combinação ótima de tarefas de atribuição de data de vencimento, liberação de pedidos e regras de despacho, sendo o desempenho das combinações avaliados com base nos seguintes critérios: custo total, quantidade de produção, tempo de processamento total e atraso. O modelo proposto nesse estudo foi avaliado a partir de dados de uma fabricante de calçados femininos. Há ainda o trabalho de Fossile *et al.* (2020) que se propôs a construir um modelo de decisão com uso do método FITradeoff para escolha de fonte

de energia renovável mais viável de investimento para portos brasileiros. Nesse estudo, foram levantados vinte critérios os quais foram definidos levando em consideração princípios de gestão de sustentabilidade, dados da literatura, padrões nacionais, legislação de política energética nacional e dados referentes a projetos de energia renovável em portos, sendo os mesmos avaliados pela Agência Brasileira de Pesquisa Energética (EPE).

Apesar das aplicações, os estudos com o FITradeoff têm envolvido outros aspectos também, a exemplo do trabalho de Kang et al. (2020) no qual é proposto o método FITradeoff para a problemática de classificação, em complemento ao original, desenvolvido para a problemática de seleção. Nesse trabalho, é feita ainda uma aplicação do método em um problema de gerenciamento de projetos, demonstrando a sua utilidade. Um trabalho anterior, com foco na visualização gráfica dentro do método FITradeoff (FREJ et al. 2019), por sua vez, se voltou para a problemática de ordenação. Este trabalho contou também com a aplicação do método proposto no contexto de uma indústria de alimentos. Vale ressaltar que a incorporação da etapa de visualização gráfica de resultados parciais de classificação é fundamental no contexto decisório e agrega significativamente para a obtenção de uma experiência satisfatória por parte dos decisores. Por fim, destaca-se o trabalho de Roselli et al. (2019) que fez uso de conceito e ferramentas de neurociência para gerar *insights* de melhoria no processo de visualização gráfica dentro do FITradeoff. Dentre outras coisas, dados de rastreamento ocular foram considerados em conjunto com dados de taxa de acerto em cenários que incorporaram número de critérios, de alternativas e representações gráficas variáveis.

Assim, ficam evidente os esforços que têm sido feitos para aprimorar o método, tornando-o cada vez mais efetivo e eficiente para aquilo a que se propõe. Este trabalho, por sua vez, vem para complementar tais esforços, avaliando aspectos cognitivos subjacentes ao processo de elicitación de preferências e a sua relação com variáveis de interesse na construção de modelos de decisão multicritério e impacto sobre a consistência. Deste modo, reforça-se sua relevância do trabalho dentro do contexto do método FITradeoff e de decisão multicritério como um todo.

2.2.2 Neurociência em Decisão em um Contexto Geral

A integração da neurociência para o estudo sobre a tomada de decisão tem se desenvolvido em diversos contextos. Um deles é o de valoração, no qual se busca compreender o processo de

codificação do valor e das preferências sobre alternativas de decisão no cérebro. No estudo de Massar et al. (2016), por exemplo, se valendo de uma tarefa de atenção no qual diferentes tipos de recompensas estavam envolvidas, foi avaliado a relação entre esforço aplicado com o valor esperado do ganho com a decisão. A dilatação da pupila foi a métrica utilizada para analisar os custos subjetivos de desempenho no estudo. A partir do resultado, pode-se concluir que, conforme o esperado, recompensas maiores levaram a níveis de esforço e atenção maiores e, portanto, um desempenho superior dos participantes. Outro exemplo é o trabalho de Pogoda et al. (2016) que buscou avaliar sinais de preferência dependentes e independentes da categoria no cérebro, se valendo, portanto, de produtos alimentares diversos: barras de chocolate e salgadinhos. Fazendo uso de fMRI, foi possível identificar o papel das partes ventrais do córtex pré-frontal medial (mPFC), córtex cingulado anterior dorsal (dACC) e córtex pré-frontal dorsolateral (dlPFC) no processamento de sinais de preferência dependentes de categoria. Por sua vez, as partes dorsais de mPFC, dACC e dlPFC estiveram associadas ao processamento de preferências independentes da categoria. Os autores destacam ainda o papel do dlPFC, cujo sinal modulatório é calculado em antecipação à avaliação futura do produto após a apresentação do estímulo. Há ainda o trabalho de Lopez-Persem et al., (2020) que se voltou para a investigação da representação neural de valor por meio da eletroencefalografia intracraniana. Foi possível identificar o papel do córtex pré-frontal ventromedial (vmPFC), do córtex orbitofrontal lateral (IOFC) e do hipocampo na representação do valor subjetivo. Além disso, constatou-se que tal valor pode ser decodificado na atividade pré-estímulo, para variados tipos de itens, ao longo de uma tarefa de distração e tanto como sinais lineares quanto quadráticos. Assim, por meio do trabalho foi possível compreender melhor as principais propriedades funcionais dos sinais de valor.

Outro contexto no qual as pesquisas têm sido feitas é o de decisão envolvendo risco e incerteza. Como exemplo, tem-se o trabalho de Poudel et al., (2017), no qual, fazendo uso de fMRI, avaliou os correlatos neurais de atualização de informações em situações de escolhas com incerteza envolvida na presença de duas fontes de informação, a saber: probabilidades e evidência. Os resultados indicaram um nível de atividade maior na rede executiva bilateral que abrange o córtex bilateral frontal, cingulado, posterior parietal e occipital nas situações em que uma ou ambas as estratégias foram utilizadas. Observou-se também que, na situação de uso da estratégia baseada em evidência, os córtices bilaterais médio, inferior frontal e occipital lateral

direito apresentação maior ativação em comparação a situação de uso da estratégia baseada em probabilidades. Além disso, nas situações de uso de ambas as estratégias, constatou-se ainda um aumento na ativação nos córtices frontais médios e frontais bilaterais. Assim, através da pesquisa ficou evidente o papel da rede frontoparietal no processamento de informação em situação de decisão com incerteza. Já no trabalho de van Holstein e Floresco (2020) foi investigado o papel das regiões ventral e dorsal do córtex pré-frontal medial (mPFC) na tomada de decisão envolvendo risco e recompensa. Nesse estudo foi aplicado um experimento com ratos no qual se avaliou o processo de decisão orientado por sugestão, no qual deveria se escolher entre uma recompensa pequena, porém certa, ou uma recompensa maior e arriscada. Os valores de probabilidade foram variáveis indo de 12,5% a 50%. Além disso, pistas auditivas eram apresentadas no início de cada tentativa, indicando a chance de obter a recompensa maior. Os resultados mostraram o papel da região ventral e infralímbica do mPFC na regulação da propensão ao risco nas situações em que as chances de vitória são baixas, e o papel das regiões pré-límbica e cingulada anterior do mPFC dorsal em situações com boas probabilidades. Tais resultados demonstram o papel dessas regiões no contexto da tomada de decisão ideal em situações com risco e complementam o conhecimento acerca do córtex cingulado anterior (ACC) ventral e dorsal humano no comportamento de escolha diante do risco.

Já no contexto da teoria dos jogos, destaca-se o trabalho de Ma et al. (2015). Nele avaliou-se a taxa de aceitação de propostas no Jogo do Ultimato, as quais eram acompanhadas de imagens faciais femininas. Essas, por sua vez, eram classificadas como atraentes ou pouco atraentes. Conforme esperado, com o aumento do nível de equidade das propostas, houve aumento da taxa de aceitação, além de que, nas situações em que um rosto atraente foi mostrado, ofertas injustas apresentaram uma probabilidade maior de serem aceitas. Nesse estudo, também foi incorporado dados de EEG, sendo observado, através da análise de ERP, redução no potencial N200 e a presença de potenciais positivos tardios aprimorados (LPPs) nas situações de apresentação de imagens de rostos atraentes. Tais potenciais estão associados na literatura à percepção e reconhecimento, bem como, emoções, respectivamente. Foi observado ainda uma associação entre situações de ofertas injustas com a negatividade relacionada ao feedback (FRN) e ao potencial P300, associados a esforço cognitivo, de modo que, ofertas injustas acompanhadas de rostos pouco atraentes geraram FRNs e P300s maiores em comparação a situações em que a oferta injusta era acompanhada de rostos atraentes. De modo geral, os resultados evidenciaram a

influência da atratividade facial do proponente no que diz respeito à imparcialidade da oferta sobre os jogadores. Outro exemplo ainda é o trabalho de Lukinova e Myagkov (2016) no qual duas situações de dilema social foram aplicadas e analisadas através do Dilema do Prisioneiro e do Jogo do Ultimato. O objetivo foi avaliar como a sociabilidade influencia na ativação funcional e conectividade entre sistemas cerebrais. Manipulando os níveis de sociabilidade e através do uso do fMRI, pode-se observar uma correlação maior da ativação do giro frontal inferior direito correlacionada com a atividade no córtex pré-frontal medial (mPFC) nas situações de decisões econômicas envolvendo um conhecido. Os resultados demonstram, assim, a existência de um mecanismo biológico relacionado à sociabilidade atuando sobre a cooperação, justiça e provisão. Mais recente, há o trabalho de Sun et al. (2019) no qual um jogo de confiança de 15 rodadas foi aplicado a pares de jogadores conectados a EEGs. Nas aplicações do jogo, ora ele era apresentado como jogo da confiança, ora como, jogo do poder. Em geral, os resultados mostraram: ganhos maiores para o jogo da confiança; tempos de reação para deliberação maiores para o administrador do que para o depositário no jogo da confiança; tempos maiores para pensar na devolução, no caso do administrador, e tempos maiores para pensar no investimento, no caso do depositante, no jogo do poder; maior precisão da previsão sobre a quantia trocada no jogo da confiança; e, por fim, maior sincronicidade entre cérebros no jogo do poder. Esse último resultado foi obtido por meio do valor de bloqueio de fase das bandas alfa no cérebro nas regiões frontal e central e evidencia a existência de elevada deliberação estratégica mútua na situação de jogo de poder. Em suma, os resultados reforçam o papel do enquadramento no comportamento dos jogadores em busca de valor.

Por fim, é importante destacar ainda o contexto de decisão intertemporal. No trabalho de Hakimi & Hare (2015), através do uso de fMRI, buscou-se investigar a representação de recompensas atrasadas no cérebro e sua relação com o desconto do valor presente aplicadas em decisões. A partir dos dados, foi possível identificar uma resposta ventricular do córtex pré-frontal significativamente correlacionada com descontos da escolha durante a etapa de recebimento de recompensa. Constatou-se ainda o papel do córtex pré-frontal ventromedial durante a etapa de imaginação de recompensa como preditor do comportamento de desconto temporal com uma taxa de acuraria significativa. Destaca-se ainda o trabalho de (LV et al., 2020) no qual foi avaliado se o córtex pré-frontal medial dorsal (DMPFC) e do polo frontal (FP) preveem adequadamente a taxa de desconto de escolhas com recompensas atrasadas em uma

tarefa de decisão com risco associado. Nesse estudo, o fMRI também foi utilizado e os resultados demonstraram correlação negativa entre os níveis de ativação do DMPFC e do FP com a preferência de risco e a capacidade de prever a taxa de desconto. Há, assim, novas evidências acerca do papel de DMPFC e FP no comportamento impulsivo em decisão. A Tabela 1 a seguir apresenta um resumo dos problemas.

Tabela 1 – Resumo dos trabalhos na área de decisão em um contexto geral e neurociência.

Trabalho	Escopo	Ferramentas de Neurociência	Tamanho da Amostra
(MASSAR et al., 2016)	Valoração	<i>Eye Tracking</i>	24
(POGODA et al., 2016)	Valoração	fMRI	16
(LOPEZ-PERSEM et al., 2020)	Valoração	EEG	36
(POUDEL et al., 2017)	Risco e Incerteza	fMRI	37
(VAN HOLSTEIN; FLORESCO, 2020)	Risco e Incerteza	-	-
(MA et al., 2015)	Teoria dos Jogos	EEG	21
(LUKINOVA; MYAGKOV, 2016)	Teoria dos Jogos	fMRI	15
(SUN et al., 2019)	Teoria dos Jogos	EEG	80
(HAKIMI; HARE, 2015)	Decisão Intertemporal	fMRI	30
(LV et al., 2020)	Decisão Intertemporal	fMRI	239

Fonte: O Autor (2021).

2.2.3 Neurociência em Decisão no Contexto Multicritério

Dentro do grupo maior de decisão suportado pela neurociência, está a decisão multicritério. Embora, muitos dos resultados de pesquisas voltadas para decisão em geral contribuam para essa área, alguns aspectos específicos devem ser considerados e investigados, de modo que pesquisas com foco na abordagem multi-atributo têm sido desenvolvidas. Um exemplo é o estudo de Khushaba et al. (2013) no qual, fazendo uso de EEG e *Eye Tracking*, avaliou o comportamento de decisores frente um problema de escolha de biscoitos cujos atributos estavam relacionados a características tais como sabor, forma e cobertura. Os resultados forneceram indícios de

sincronização entre as áreas frontal e occipital e um padrão de atividade de potência da banda delta na região frontal, da banda teta na região occipital, das bandas alfa e beta nas regiões frontal, temporal e occipital, e da banda gama na região temporal em associação às escolhas preferidas. Por sua vez, o estudo de Van Duijvendoorde et al.,(2016) investigou o funcionamento da racionalidade compensatória e não compensatória no cérebro em problemas multicritério no contexto de risco, usando fMRI. Sendo classificados como decisores com racionalidade compensatória ou não compensatória, foram submetidos a problemas com conjunto de itens “simples”, dentre as alternativas, havia uma superior às demais em todos os atributos, e com conjunto de itens de “conflito”, constituído por alternativas com desempenho superior em um atributo e inferior nos demais, variando entre si. A partir dos dados cerebrais, constatou-se atuação do córtex parietal na codificação do valor esperado para o grupo de decisores com racionalidade compensatória enquanto que, para o segundo grupo, tal evidência foi mais limitada, havendo ênfase de atuação do córtex dorsolateral pré-frontal (dlPFC). Sugere-se, assim, atuação do dlPFC na detecção de conflitos de decisão e viés heurístico.

Mais recente, há o trabalho de Shevchenko e Bröder (2018) que se voltou para a avaliação do efeito de diferentes humores na escolha de estratégias de decisão multi-atributos: compensatória ou não compensatória. A partir da realização de dois experimentos, os resultados indicaram a adoção de estratégias não compensatórias em situações de humor positivo em número superior em comparação à situação de humor negativo, indo tal achado em consonância com a teoria do “humor como informação”. Por fim, destaca-se o trabalho de Roselli et al. (2020) investigou o processo de elicitación de preferência com uso do procedimento *tradeoff*. O objetivo foi investigar os aspectos cognitivos associados ao uso de tal procedimento e sua relação com a geração de inconsistências que ocorrem em sua maioria na etapa da exploração do espaço de consequências, etapa essa inserida nesse estudo com essa finalidade. Através de um experimento com EEG e *Eye Tracking* foi possível identificar um aumento de esforço cognitivo ao longo das etapas do processo de elicitación em consonância com o aumento do nível de complexidade. Além disso, para os problemas nos quais inconsistências foram observadas, engajamento negativo maior foi observado, sugerindo baixo interesse durante o processo de fornecimento de informações de preferência e seu impacto na consistência. Um resumo é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos trabalhos na área de decisão multicritério e neurociência.

Trabalho	Escopo	Ferramentas de Neurociência	Tamanho da Amostra
(KHUSHABA et al., 2013)	Decisão Multicritério	EEG e <i>Eye Tracking</i>	18
(VAN DUIJVENVOORDE et al., 2016)	Decisão Multicritério	fMRI	40
(SHEVCHENKO; BRÖDER, 2018)	Decisão Multicritério	-	504
(ROSELLI et al., 2020)	Decisão Multicritério	EEG e <i>Eye Tracking</i>	52

Fonte: O Autor (2021).

2.2.4 Neurociência em Sistemas de Informação

A neurociência em sistemas de informação vem ganhando destaque nos últimos anos, tendo sua origem em 2007 durante a Conferência Internacional de Sistemas de Informação (MÜLLER-PUTZ; RIEDL; WRIESSNEGGER, 2015; PAVLOU; DAVIS; DIMOKA, 2007). Desde então, estudos têm sido desenvolvidos explorando o potencial de ferramentas como EEG, fMRI e *Eye Tracking* principalmente para o avanço teórico da área de SI, bem como, para o desenvolvimento de aperfeiçoamento de ferramentas e estratégias de implementação e adoção das mesmas.

Como exemplo, pode-se citar o trabalho de De Guinea e Webster (2013) que buscou relacionar o comportamento cognitivo e emocional aos padrões de uso em sistemas de informação, fazendo uso, dentre outras coisas, de dados de frequência cardíaca. Os resultados indicaram a existência de padrões de uso de SI de dois tipos: automático e ajustável. Enquanto o primeiro é predominante e fornece desempenho superior no curto prazo, o padrão ajustável é presente em situações de eventos discrepantes, entretanto, dá lugar com o passar do tempo para o padrão automático. Outro exemplo é o trabalho de Vance et al. (2018) em que foi avaliado o efeito de habituação de usuários de um sistema a alertas de segurança, utilizando dados coletados de fMRI e *Eye Tracking*. A partir dos dados, foi possível identificar a existência de uma tendência de declínio da atenção sobre tais alertas com o passar do tempo, mas que é recuperável parcialmente quando o usuário fica sem interagir com os mesmos durante alguns dias. Outro achado é de que a adoção de alertas polifórmicos, ou seja, aqueles que alteram sua aparência reduzem esse efeito de habituação e de redução de atenção, sendo uma estratégia importante na construção dos alertas. Por fim, destaca-se o trabalho de Roselli, de Almeida e Frej (2019) que

usaram *Eye Tracking* para investigar como diferentes representações gráficas de problemas com múltiplos critérios influenciam a maneira como um decisor avalia alternativas de decisão em SADs. Os resultados reforçaram a importância do adequado posicionamento dos critérios em função do peso, ou constante de escala, associados na construção dos gráficos, a fim de direcionar adequadamente a atenção do usuário de tais sistemas para avaliação e tomada de decisão. Além disso, os resultados indicaram o uso de tabelas como uma boa alternativa para o uso de gráficos, resultando em maiores taxas de acerto no processo avaliativo. Tais resultados, direcionam, portanto, pesquisas na área de visualização gráfica em SADs, permitindo o aprimoramento dos mesmos. Na Tabela 3, encontra-se um resumo dos trabalhos apresentados.

Destaca-se ainda o trabalho de da Silva e Costa (2020) e da Silva, Costa e de Almeida (2021) os quais fazem parte desta tese e que abordaram alguns aspectos relacionados ao processo de elicitação de preferências com o uso do SAD do FITradeoff. Mais detalhes, contudo, são apresentados e discutidos ao longo da tese.

Tabela 3 – Resumo dos trabalhos na área sistemas de informação e neurociência.

Trabalho	Escopo	Ferramentas de Neurociência	Tamanho da Amostra
(DE GUINEA; WEBSTER, 2013)	Sistemas de Informação	EKG	161
(VANCE et al., 2018)	Sistemas de Informação	fMRI e <i>Eye Tracking</i>	118
(ROSELLI; DE ALMEIDA; FREJ, 2019)	Sistemas de Informação	<i>Eye Tracking</i>	36

Fonte: O Autor (2021).

2.3 Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho

Assim como outras áreas, a área de decisão em geral tem se beneficiado da integração com as ferramentas e técnicas de neurociência, permitindo responder diversas perguntas a fim de melhor compreender os processos cognitivos subjacentes ao processo decisório. Todos esses achados têm permitido a geração de novos conhecimentos e ferramentas com benefícios diversos. Algo semelhante tem ocorrido com a área de sistemas de informação, cujas pesquisas têm se voltado, dentre outras coisas, entender como ocorre a interação do usuário com sistemas diversos e como melhorar tal interação no intuito de aprimorar a experiência, adesão e resultados. Como

consequências, desenvolvimento de novas estratégias de implementação e desenvolvimento de SIs estão entre os resultados da neurociência em sistemas de informação. Já no que diz respeito a área de decisão multicritério e SADs associados, os resultados e avanços ainda têm sido discretos, cobrindo questões mais abrangentes e problemas mais simples.

Neste trabalho, busca-se avaliar um método específico de apoio a decisão, investigando como aspectos cognitivos relacionados a esforço, atenção e engajamento se alteram ao longo do processo de elicitação com o FITradeoff e a influência que variáveis tais como o número de perguntas feitas durante o processo de elicitação de preferências, número de critérios e tipo de critério predominante no problema exercem sobre estes aspectos cognitivos. Enquanto o esforço cognitivo está associado a alocação de recursos cognitivo para compreensão e execução de uma tarefa, a atenção está associada à concentração sobre uma dada atividade. Por sua vez, o engajamento indica o interesse e a motivação para execução da tarefa demandada. Além disso, a construção dos experimentos representa outro diferencial, visto que um SAD real e problemas de interesse próprio desenvolvido pelos próprios participantes, em um dos experimentos, foram utilizados a fim de gerar ganhos em realidade e motivação e reduzir vieses. Vale ressaltar que apesar de um método e SAD específico estarem sendo utilizados, permitindo melhorias diretas para os mesmos a partir das recomendações desenvolvidas, essas últimas terão sua contribuição para outros métodos e SADs, permitindo a abrangência da aplicação deste trabalho. Assim, de modo geral, os resultados alcançados aqui servem para a sociedade como um todo, dada a importância do problema de pesquisa aqui apresentado. Dessa forma, até onde se têm conhecimento, o presente trabalho se difere dos demais, contribuindo para a melhoria de um método multicritério específico e SAD associado e para o desenvolvimento teórico na área ao tratar de aspectos em certo grau abrangentes. A Tabela 4 a seguir resume as áreas de neurociência voltadas para decisão, decisão multicritério, sistemas de informação e posiciona esse estudo, indicando sua diferenciação.

Tabela 4 – Síntese do estado da arte e posicionamento deste trabalho.

Neurociência				
Decisão em geral			Sistemas de Informação	
Escopo	Contribuição	Referências	Contribuição	Referências
Valoração	Compreender o processo de avaliação de alternativas no cérebro sem usar abordagens multicritério.	(LOPEZ-PERSEM et al., 2020; MASSAR et al., 2016; POGODA et al., 2016)	Compreender os mecanismos cognitivos relacionados ao uso e adoção de sistemas de informação.	(DE GUINEA; WEBSTER, 2013; ROSELLI; DE ALMEIDA; FREJ, 2019; VANCE et al., 2018)
Risco e incerteza	Compreender o risco e o processamento da incerteza no cérebro no contexto da tomada de decisão	(POUDEL et al., 2017; VAN HOLSTEIN; FLORESCO, 2020)		
Teoria dos jogos	Compreender o processo de tomada de decisão no cérebro com base na teoria dos jogos.	(LUKINOVA; MYAGKOV, 2016; MA et al., 2015; SUN et al., 2019)		
Decisão intertemporal	Compreender o processo de tomada de decisão considerando recompensas imediatas ou tardias.	(HAKIMI; HARE, 2015; LV et al., 2020)		
Decisão multicritério	Compreender o processo de avaliação de alternativas no cérebro usando procedimentos multicritério.	(KHUSHABA et al., 2013; ROSELLI et al., 2020; SHEVCHENKO; BRÖDER, 2018; VAN DUIJVENVOORDE et al., 2016)	Este trabalho	
			Compreender os processos cognitivos de elicitação de preferência no contexto compensatório com base em um método multicritério, o FITradeoff, implementado em um SAD.	

Fonte: O Autor (2021).

3 EXPERIMENTOS COM NEUROCIÊNCIA PARA COMPREENSÃO DOS ASPECTOS COGNITIVOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O FITRADEOFF

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados de dois experimentos realizados com o SAD do FITradeoff. Para tanto, inicialmente, é feita a apresentação das características gerais dos experimentos, tais como a estrutura do SAD, o desenho experimental, procedimentos para execução dos experimentos, os equipamentos utilizados, as amostras consideradas e as variáveis de estudo. A partir de então, tem-se o primeiro experimento que contou com alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção que resolveram problemas variáveis, desenvolvidos para cada um deles. Detalhes específicos, bem como os resultados e discussões são apresentadas para o experimento em questão. O segundo experimento, por sua vez, contou com alunos de graduação em Administração que resolveram um problema padrão de escolha de smartphone. Assim como para o primeiro experimento, os resultados e discussões são apresentados considerando as peculiaridades desse experimento. Em todos os casos, um nível de significância $\alpha = 0,10$ foi considerado. Após isso, o capítulo se encerra com a comparação dos resultados dos dois experimentos e as considerações finais.

3.1 Experimentos de Neurociência

A apresentação e discussão das características presentes nos experimentos realizados são trazidas nesta seção conforme se segue.

3.1.1 Procedimento de execução dos experimentos

Todos os experimentos foram realizados no laboratório NeuroScience for Information and Decision (NSID) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (www.insid.org.br/nsid-lab) durante aproximadamente três meses.

Cada participante recebeu instruções com antecedência sobre o experimento. Para a amostra composta por estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção, cada participante desenvolveu um problema de decisão de seu interesse o qual foi enviado com

antecedência, enquanto os demais usaram um problema padrão de escolha de smartphone apresentado em mais detalhes na seção 3.3.1. Tal configuração permitiu analisar o efeito do grau de conhecimento sobre os aspectos cognitivos durante o processo de elicitação, uma vez que a amostra do Experimento 1 era formada por participantes que já haviam concluído uma disciplina associada ao processo de apoio a decisão com abordagem multicritério, enquanto os participantes da segunda amostra ainda estavam pagando a disciplina. Além disso, o uso de um problema padrão para o grupo do Experimento 2 viabilizou uma padronização nas análises para uma amostra que foi menor, bem como, avaliar o impacto de uma situação em que um problema, apesar de compreensível por todos os participantes, que não gerava tanto engajamento nos participantes em comparação ao que ocorreu no Experimento 1. Os dados referentes à lista de critérios com os respectivos sentidos de preferência, bem como a lista de alternativas e seu desempenho nos respectivos critérios, foram então inseridos em uma planilha para inserção no SAD do FITradeoff.

Antes do início do experimento, os equipamentos foram calibrados e montados e novas instruções foram dadas aos sujeitos. A preparação foi rápida, levando cerca de 15 minutos. A partir daí, os sujeitos navegaram no SAD do FITradeoff e forneceram informações sobre suas preferências até que fosse encontrada uma solução satisfatória para o problema de decisão. Por fim, os sujeitos responderam a um questionário sobre sua experiência com o SAD.

3.1.2 Equipamentos e Materiais

Duas ferramentas de neurociência foram usadas durante os experimentos para a coleta dados neurofisiológicos: um *Eye Tracking* e um EEG. Um *Trigger* foi usado para a sincronização dos dados capturados nas diferentes ferramentas de neurociência.

Um monitor LCD (largura: 48 cm; altura: 26,9 cm; resolução de 1280x1024 pixels) conectado a um notebook de 64 bits rodando Windows 10 com 4GB de RAM foi usado para apresentar o experimento. O notebook também foi conectado ao *Eye Tracking* e ao EEG e com todos os softwares necessários instalados. Mais detalhes sobre a captura de dados psicofisiológicos e tratamento são apresentados a seguir.

Um *Eye Tracking* Tobii X120 foi usado para coletar dados sobre os movimentos dos olhos e o tamanho da pupila dos participantes. Trata-se de um rastreador ocular estático útil para uso

com telas e tem uma taxa de amostragem de 120 Hz e precisão de 0,5°. Os dados foram registrados no Tobii Studio e aqueles relacionados ao tamanho da pupila foram exportados para uma planilha do Excel para análise. O pré-processamento consistiu em identificar e remover piscadas, interpolando dados perdidos e removendo *outliers*. Gravações de baixa captura foram removidas. As diferenças interindividuais na faixa dinâmica da pupila (BITSIOS; PRETTYMAN; SZABADI, 1996) foram tratadas por correção de linha de base, considerando a mudança proporcional no tamanho da pupila para cada participante (HESS; POLT, 1964; JOHNSON et al., 2014). Todo o processo de limpeza levou aproximadamente quatro meses para ser concluído. Por fim, apenas os dados do olho direito foram considerados neste estudo, uma vez que há evidências de indiferença em relação a qual olho é analisado (SHARMA; GEDEON, 2012).

Para dados coletados diretamente do cérebro, o Emotiv EPOCH + foi usado. É um EEG de 14 canais com uma taxa de amostragem de 128Hz. Todos os dados capturados são enviados via Bluetooth para um USB proprietário conectado a um computador. Os canais estão localizados nas seguintes posições de acordo com o sistema 10-20: AF3, AF4, F7, F8, F3, F4, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1 e O2. O software OpenVibe Writer foi usado para registrar os dados e o EEGLAB, uma caixa de ferramentas do MATLAB, foi usado para pré-processamento e análise, assim como o Microsoft Excel. No EEGLAB, os artefatos foram corrigidos com as seguintes etapas: (1) re-referenciar com base na atividade média calculada ao longo dos eletrodos, (2) filtrar os dados (passa-alto: 40 Hz e passa-baixo: 0,1 Hz), (3) inspeção visual e exclusão de partes incorretas de dados e (4) correção de artefatos usando o método *Independent Component Analysis* (ICA). Os valores de potência também foram obtidos no EEGLAB para cada canal dentro da faixa de frequência de 1 a 40 Hz. A partir desses valores foram, então, calculados a média para as bandas de frequência EEG, delta (1-4 Hz) e alfa (8-13 Hz) (PIZZAGALLI, 2007), e, posteriormente, transformado em logaritmo para normalizar as distribuições dos valores de potência conforme recomendado por Davidson *et al.*, (1990). Os valores de assimetria alfa frontal foram calculados neste estudo para os pares de canais F4 / F3 e F8 / F7 (MORIDIS et al., 2018) usando a diferença nos valores de potência da banda alfa conforme Equação 3.1 e Equação 3.2.

$$\log \log PSD F4 - \log PSD F3 \tag{3.1}$$

$$\log \log PSD F8 - \log PSD F7 \tag{3.2}$$

3.1.3 Participantes

Ao total, 89 pessoas participaram dos experimentos deste trabalho. Dessas, 57 eram alunos de graduação, doutorado e mestrado em Engenharia de Produção e 32 alunos de graduação em Administração, alguns dos quais tinham experiência no ambiente de negócios e outros não. Para a amostra composta por alunos de Engenharia de Produção, no entanto, apenas dados de 49 participantes puderam ser considerados neste estudo, após pré-processamento e avaliação da qualidade. Para a amostra com os alunos de Administração, por sua vez, pôde-se aproveitar os dados de um total de 27 participantes. Tal avaliação de qualidade considerou a manutenção de dados de participantes cujas gravações de EEG e *Eye Tracking* fossem boas simultaneamente. Assim, gravações de EEG com muitos artefatos e ruídos identificados, sejam eles de origem do ambiente do experimento, como aqueles oriundos de interferência elétrica, ou de origem de movimentos dos participantes, de modo que o pré-processamento e limpeza fosse inviável, foram descartadas. Por sua vez, gravações do *Eye Tracking* com baixa taxa de captura foram removidas também. Todos assinaram o termo de consentimento antes do início do experimento. Nenhum deles teve problemas que afetassem adversamente a condução do experimento, sejam oculares ou mentais.

3.1.4 Variáveis de Estudo

Visando alcançar o objetivo geral deste trabalho, variáveis neurofisiológicas foram consideradas de maneira integrada conforme recomendado por Dimoka *et al.*, (2012). A Tabela 5 apresenta as variáveis consideradas bem como seus significados.

Tabela 5 – Variáveis consideradas nesse trabalho e seus significados.

Variável	Significado
Dilatação da pupila	O tamanho da pupila medido em milímetros
Dilatação da pupila corrigida por <i>baseline</i>	Varição do tamanho da pupila em relação a um valor base. É obtido dividindo o tamanho da pupila pelo valor base
Tempo de resposta	Tempo de resposta medido entre o início e o

	fim de uma tarefa
Potência de bandas de frequência	Potência das bandas de frequência (delta, teta, alfa, beta e gama) da atividade cerebral geralmente medida em micro-Volts
Banda Teta	Faixa de frequência do cérebro que vai de 4 a 8 Hz
Banda Alfa	Faixa de frequência do cérebro que vai de 8 a 13 Hz
Assimetria Frontal Alfa	Diferença entre a atividade alfa direita e esquerda nas regiões frontais do cérebro

Fonte: O Autor (2021).

3.2 Experimento 1 – Uso do Sistema de Apoio a Decisão do FITradeoff por Participantes do Perfil 1

Nesta seção, são apresentadas as características dos problemas de decisão da amostra e discutidos os fatores relevantes para o estudo das inconsistências as quais estão altamente relacionadas à etapa de Exploração do Espaço de Consequências, inserida nesse estudo para viabilizar tal fim. Aspectos cognitivos também são analisados e relacionados às características dos problemas de decisão. Para isso, foram usados dados sobre o tempo de resposta, o tamanho da pupila e medidas de potência da frequência cerebral.

3.2.1 Desenho do experimento

O presente experimento foi construído usando o SAD do FITradeoff com a incorporação da análise de inconsistências por meio da inserção da Etapa 3 (Exploração do Espaço de Consequências), etapa essa à qual boa parte das inconsistências está associada. A amostra foi composta por alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção, tendo alguns, experiência no ambiente de negócios. Trata-se, portanto, de uma amostra com boa experiência e conhecimento em métodos multicritério. Cada participante desenvolveu de antemão um problema multicritério de seu próprio interesse a ser resolvido com o FITradeoff durante o experimento. Tais características viabilizaram a análise de diversos fatores, tais como: o número de perguntas

feitas durante o processo de elicitación de preferências, o número de critérios do problema e tipo predominante de critérios do problema e suas relações com os aspectos cognitivos e ocorrência de inconsistências, geradas, em sua maioria, na Exploração do Espaço de Consequências. Além disso, pelo fato dos problemas resolvidos serem de interesse próprio há ganho com engajamento nesses participantes.

A seção 3.2.2 a seguir apresenta um resumo das características dos problemas presentes na amostra em questão, trazendo, assim, detalhes pertinentes.

3.2.2 Características dos Problemas de Decisão

A amostra deste experimento consistiu em 49 problemas de decisão para os quais o número de critérios usados variou de 3 a 12 (ver Tabela 6). A maioria dos problemas (93,88%), entretanto, tinha entre 3 e 8 critérios.

Tabela 6 – Número de problemas de decisão em função do número de critérios no Experimento 1.

Número de critérios	Número de problemas de decisão	%
03 - 05	31	63,27
06 - 08	15	30,61
09 - 11	2	4,08
12	1	2,04

Fonte: O Autor (2021).

Além disso, o número de alternativas de decisão estava entre 2 e 22. A Tabela 7 mostra a porcentagem e o número de problemas de decisão por número de alternativas. Poucos problemas (menos de 10%) tinham mais de 11 alternativas.

Tabela 7 – Número de problemas de decisão em função do número de alternativas no Experimento 1.

Número de alternativas	Número de problemas de decisão	%
02	2	4,08
03 - 05	33	67,35
06 - 08	6	12,24
09 - 11	6	12,24
12 - 14	0	0,00
15 - 17	0	0,00
18 - 20	0	0,00
21 - 22	2	4,08

Fonte: O Autor (2021).

Os problemas de decisão foram classificados de acordo com o tipo de critério predominante. Um problema foi considerado quantitativo se pelo menos 70% dos critérios fossem quantitativos. Se 70% ou mais dos critérios fossem qualitativos, o problema era classificado como qualitativo. Em todos os outros casos, o problema foi classificado como combinado. O número de problemas de decisão em cada classe é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Número de problemas de decisão em função do tipo predominante de critério no Experimento 1.

Tipo de critério predominante	Número de problemas de decisão	%
Quantitativo	20	40,82
Qualitativo	12	24,49
Combinado	17	34,69

Fonte: O Autor (2021).

Por fim, foi analisado o número de inconsistências e que está relacionado à redundância introduzida nesse experimento para fins de análises. A partir dos dados obtidos, no máximo, 2 inconsistências foram observadas nos experimentos, valor esse relacionado diretamente ao número de inequações obtidas durante a exploração do espaço de consequências que por sua vez

está relacionado ao número de critérios nos problemas conforme melhor discutido na seção 3.2.3. Em sua grande maioria, os problemas não apresentaram nenhuma inconsistência, mesmo com a redundância introduzida, em conformidade ao esperado pelo método que diferentemente do *tradeoff* não gera altas taxas de inconsistências (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991; WEBER; BORCHERDING, 1993). A dinâmica do FITradeoff resulta em menos perguntas a serem feitas e, portanto, menos tempo necessário para encontrar uma solução. Isso explica o fato de o FITradeoff ter uma taxa esperada significativamente mais baixa de inconsistências e é uma vantagem que tem sobre outros métodos.

3.2.3 Análise do processo

Nesse estudo, o processo decisório com o apoio do SAD do FITradeoff foi analisado, considerando três etapas, as saber: Ordenação das Constantes de Escala, Exploração do Espaço de Consequências e Elicitação Flexível. A partir delas, são obtidas informações capazes de gerar uma recomendação de decisão e testar a existência de inconsistências, em sua grande maioria, associadas à redundância de informação introduzida nos experimentos (Exploração do Espaço de Consequências).

Assim, nessa seção, são feitas análises considerando tais etapas a partir de dados, entre outros, neurofisiológicos conforme se segue.

Inicialmente, com relação ao número de questões ao longo das etapas, observou-se que a maioria dos problemas exigia entre 3 e 5 questões na Etapa 2 (ver Tabela 9) e na Etapa 3 (ver Tabela 10). Nessas duas etapas, dada a sua estrutura, o número de questões varia exclusivamente de acordo com o número de critérios do problema. Assim, se um problema tiver n critérios, o número de questões na Etapa 2 será igual a $n-1$ e igual a $n-2$ na Etapa 3, com um mínimo de 2 questões nesta etapa. Quanto à etapa de elicitação flexível, o número de perguntas também depende das respostas fornecidas nas etapas anteriores, portanto, não necessariamente, problemas com mais critérios demandarão mais perguntas. O trabalho de MENDES et al. (2020) discute com mais detalhes através de um estudo com simulação o impacto de algumas variáveis, dentre elas o número de critérios sobre o número de perguntas na etapa da elicitação flexível. Na amostra, observou-se que, para a maioria dos problemas, até 11 questões foram suficientes para

encontrar uma recomendação de decisão e concluir a etapa (ver Tabela 11) o que está alinhado aos resultados do estudo de MENDES et al. (2020).

Vale ressaltar que as perguntas na Etapa 2 são inerentes a qualquer método durante a construção de modelos de decisão. Em outras palavras, em qualquer situação, o decisor precisa avaliar os critérios do problema e definir uma ordem, seja ela de importância como nos métodos não compensatórios, seja ela uma ordem das constantes de escala que consideram o espaço de consequências como nos métodos compensatórios. Por sua vez, a Etapa 3 é facultativa para o teste de inconsistências e, para esse experimento, escolheu-se que seriam feitas n-2 questões com um mínimo de duas questões. Todavia, em outras situações, o decisor pode optar por responder mais ou menos perguntas a fim de explorar o espaço de consequências e testar inconsistências. Já a Etapa 4 representa a grande diferença do método FITradeoff, e como se pôde observar, nessa etapa o número de perguntas feitas foi significativamente baixo, havendo casos em que nenhuma pergunta foi necessária. Assim, os resultados indicam a simplicidade do FITradeoff, uma vez que pode fornecer ao decisor uma recomendação de decisão sem a necessidade de fazer muitas perguntas ao decisor.

Tabela 9 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 2 no Experimento 1.

Etapa 2		
Número de perguntas	Número de problemas de decisão	%
02	2	4,08
03 – 05	37	75,51
06 – 08	7	14,29
09 – 11	3	6,12

Fonte: O Autor (2021).

Tabela 10 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 3 no Experimento 1.

Etapa 3		
Número de perguntas	Número de problemas de decisão	%
02	11	22,45
03 – 05	33	67,35
06 – 08	3	6,12

09 – 10	2	4,08
---------	---	------

Fonte: O Autor (2021).

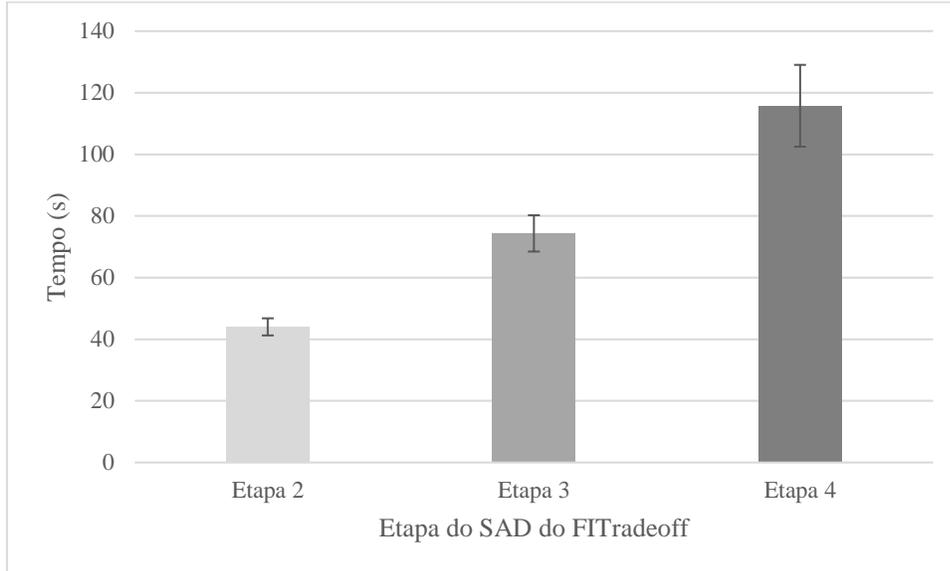
Tabela 11 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 4 no Experimento 1.

Etapa 4		
Número de perguntas	Número de problemas de decisão	%
00 – 02	17	34,69
03 – 05	9	18,37
06 – 08	12	24,49
09 – 11	7	14,29
12 – 14	1	2,04
15 – 17	2	4,08
18 ou mais	1	2,04

Fonte: O Autor (2021).

Em relação aos dados de tempo, observou-se um aumento ao longo das etapas (teste T pareado, $p < 0,01$), sendo o tempo médio despendido na Etapa 1 de 44,01 segundos (DP: 19,45), enquanto na Etapa 2 o tempo médio foi de 1 minuto e 14 segundos (DP: 41,24) e na Etapa 3 de 1 minuto e 55 segundos (DP: 87,11) (ver Figura 10). No total, as três etapas exigiram um tempo médio de 3 minutos e 39 segundos (DP: 115,78), demonstrando assim que o uso do método não ocupa muito tempo do decisor para que uma recomendação de decisão fosse obtida.

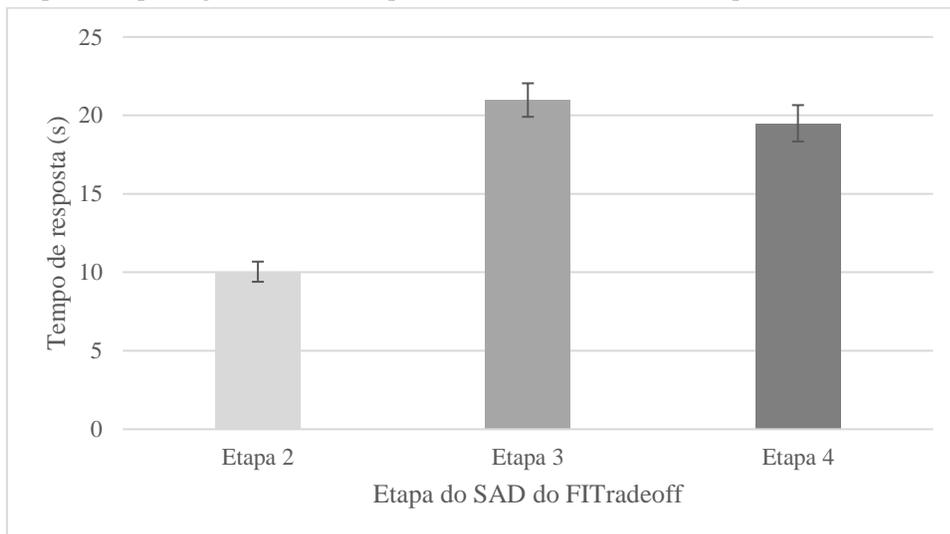
Figura 10 – Tempo gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Ainda com relação a medida de tempo, foi feita uma análise de tempo de resposta, considerando o tempo gasto médio por pergunta em cada uma das três etapas. Conforme se pode constar a seguir na Figura 11, foi observado um crescimento em relação ao tempo médio com diferenças significativas (teste T pareado, $p < 0,01$) entre a Etapa 2 ($10,04 \pm 4,49s$) e a Etapa 3 ($20,98 \pm 7,48s$) e entre a Etapa 2 e a Etapa 4 ($19,50 \pm 7,60s$).

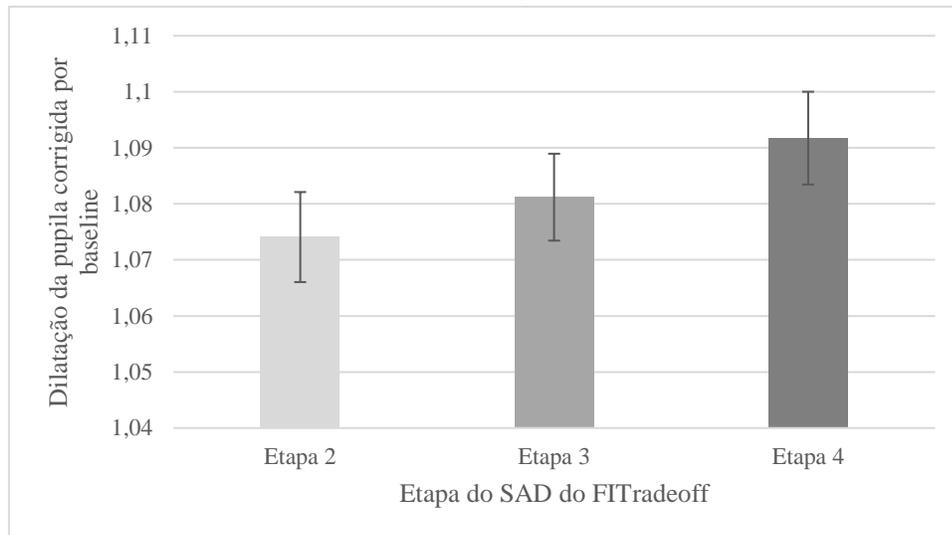
Figura 11 – Tempo de resposta gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Por sua vez, a partir dos dados coletados com *Eye Tracking*, os valores médios do tamanho da pupila corrigido pela *baseline* foram comparados durante as três etapas (ver Figura 12). Como as amostras são dependentes, o teste T pareado foi aplicado para avaliar a diferença dos valores médios e foram encontradas diferenças significativas ($\alpha = 0,1$) entre todas as etapas.

Figura 12 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Conforme as etapas progredem, a dilatação da pupila aumenta. Na literatura, um tamanho maior de dilatação da pupila indica maior esforço cognitivo e atenção (ROSCH; VOGEL-WALCUTT, 2013; VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018). Assim, há evidências de que há uma evolução na complexidade exigida pelo SAD e no esforço demandado pelo decisor à medida que ele caminha em direção à etapa da elicitación flexível.

Foi analisada ainda a potência da banda de frequência teta (4–8 Hz) entre as etapas do SAD do FITradeoff. Estudos têm mostrado uma relação positiva dessa banda de frequência com processos cognitivos em situações que requerem esforço mental e têm uma carga de trabalho cognitiva (KLIMESCH, 1996; MUSSEL et al., 2016; PUMA et al., 2018; VIDULICH; TSANG, 2012). O teste T pareado foi realizado e os resultados são apresentados na Tabela 12.

Em consonância com a análise de dilatação de pupila, aqui, os resultados indicam o aumento do esforço cognitivo com o avanço no processo de elicitación entre as etapas para a maioria dos canais.

Tabela 12 – Relação da potência da banda teta entre as etapas do SAD do FITradeoff no Experimento 1.

Potência da banda teta			
Canal	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
AF3	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou***
Af4		Aumentou***	Aumentou***
F3	Aumentou**	Aumentou**	Aumentou**
F4	Aumentou**	Aumentou**	
F7	Aumentou***	Aumentou***	
F8	Aumentou**	Aumentou**	
FC5			
FC6	Aumentou**	Aumentou**	
O1		Aumentou***	Aumentou**
O2	Aumentou***	Aumentou***	
P7	Aumentou**	Aumentou***	
P8		Aumentou**	
T7		Aumentou***	Aumentou***
T8		Aumentou**	Aumentou*

*p<0,10

**p<0,05

***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

Por fim, analisou-se a assimetria frontal alfa para os pares de canais F3/F4 e F7/F8. Estudos têm mostrado uma relação negativa entre a banda alfa e os níveis de ativação neural, associando-a à função inibitória do cérebro (BAŞAR et al., 2001; PALVA; PALVA, 2007). A assimetria frontal alfa diz respeito à diferença na atividade alfa entre os hemisférios direito e esquerdo do cérebro nas regiões frontais, e esta medida está relacionada ao engajamento (COAN; ALLEN, 2004; DAVIDSON et al., 1990; REZNIK; ALLEN, 2018). Valores mais altos de atividade alfa frontal no hemisfério direito e, conseqüentemente, maior ativação neural no hemisfério esquerdo, estão associados a uma tendência a responder mais intensamente aos estímulos de forma positiva. Uma maior atividade alfa frontal no hemisfério direito está associada a um comportamento de engajamento mais negativo. Assim, buscou-se avaliar o comportamento do engajamento ao longo

das etapas do SAD do FITradeoff e os resultados obtidos a partir do teste T pareado são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas de FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canais F8-F7 e F4-F3 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa			
	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
Par de canal	p	p	p
F4/F3	0,736	0,9679	0,6148
F8/F7	0,5363	0,6201	0,7532

Fonte: O Autor (2021).

Os resultados não mostraram diferenças significativas, estando todos os valores próximos a zero ou positivos.

3.2.4 Análise de Consistência

É sabido que o método FITradeoff gera baixa taxa de inconsistência dada a sua estrutura que requer informação de preferência parcial. Com isso, é esperado, a partir de uma estimativa Bayesiana, que a taxa de inconsistência do método seja de 5% aproximadamente. Nesse estudo, é importante ressaltar, que dada à redundância de informação introduzida nos experimentos realizados para fins de testes de inconsistências, a maior parte das inconsistências observadas estão associadas a tal fator e não ao processo de elicitacão do FITradeoff.

A ocorrência de inconsistências no processo de tomada de decisão deve ser idealmente eliminada ou pelo menos minimizada. Tentar fazer isso é um desafio importante a enfrentar a fim de aprimorar um método. Inconsistências representam uma violação na confiabilidade das informações que o decisor fornece para obter uma solução. Eles também podem ser definidos como evidências de contradições nas preferências do decisor. Inicialmente, foi avaliado também o tempo de resposta considerando os grupos de problema com e sem inconsistência. Assim, dado o tamanho da amostra, o teste de Wilcoxon foi feito para comparar os valores de tempo de resposta entre os dois grupos para cada etapa, sendo os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas FITradeoff no Experimento 1.

Tempo de resposta	
	Consistente x Inconsistente
Etapa	p
Etapa 2	0,4854
Etapa 3	0,2276
Etapa 4	0,07851

Fonte: O Autor (2021).

Aqui, os resultados indicaram diferença apenas na Etapa 4 com valor maior observado para o grupo de problemas sem inconsistência observada ($19,96 \pm 6,96s$) em comparação ao grupo de problemas com inconsistências ($17,95 \pm 9,68s$). Assim, sugere-se que maior esforço foi desempenhado na etapa da elicitación flexível para os problemas sem inconsistências. Ressalta-se aqui a importância dessa etapa na definição do espaço das constantes de escala e busca por uma recomendação de decisão. Essa é uma etapa que exige do decisor, e os resultados observados fornecem indícios de que o maior esforço dispendido pelo grupo sem inconsistências pode ter sido um fator que justifique a ausência de inconsistências.

O tempo de resposta ao longo das etapas do FITradeoff também foi avaliado para cada grupo de problemas (ver Tabela 15). Para o grupo de problemas consistentes foi aplicado o teste T pareado, enquanto para o grupo de problemas em que foram observadas inconsistências foi aplicado o teste pareado de Wilcoxon.

Tabela 15 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 1.

Tempo de resposta		
	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	2,45E-10	0,01953
Etapa 2 x Etapa 4	3,53E-12	0,08398
Etapa 3 x Etapa 4	0,3848	0,625

Fonte: O Autor (2021).

Conforme se constata, houve crescimento estatisticamente significativo para problemas sem inconsistências entre a Etapa 2 ($9,75 \pm 3,80s$) e a Etapa 3 ($21,47 \pm 8,12s$) e entre a Etapa 2 e a Etapa 4 ($19,96 \pm 6,96s$) ($p < 0,01$). O mesmo foi observado para problemas com inconsistências observadas ($p < 0,1$) com os respectivos valores: Etapa 2 ($11,15 \pm 6,72s$), Etapa 3 ($19,07 \pm 3,85s$) e Etapa 4 ($17,95 \pm 9,68s$).

Semelhantemente, foi analisado a dilatação de pupila considerando os grupos de problema com e sem inconsistência. O teste de Wilcoxon foi feito para comparar os valores de dilatação entre os dois grupos para cada etapa, contudo, nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada conforme se observa na Tabela 16.

Tabela 16 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 1.

Dilatação da pupila corrigida por <i>baseline</i>	
	Consistente x Inconsistente
Etapa	p
Etapa 2	0,3988
Etapa 3	0,2745
Etapa 4	0,2348

Fonte: O Autor (2021).

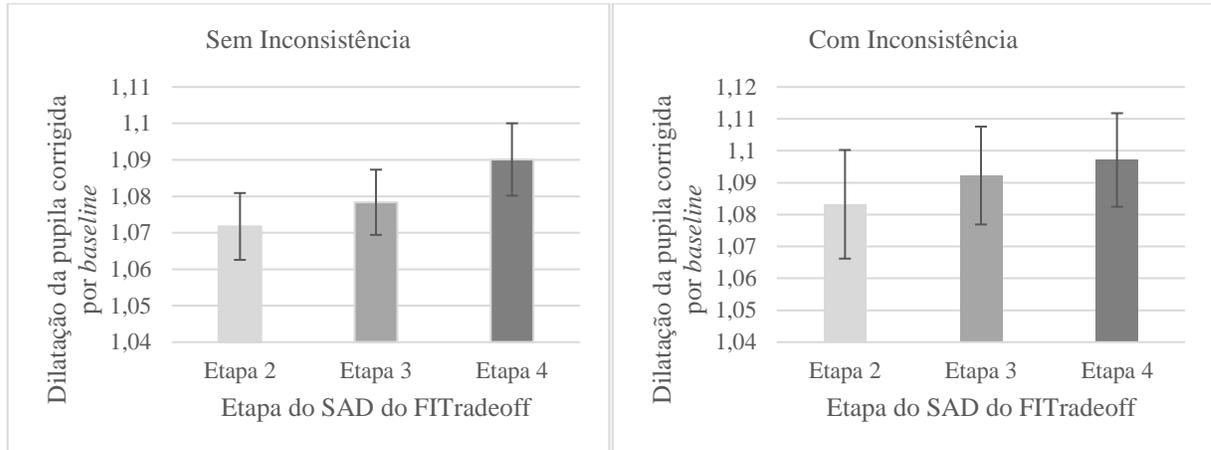
Outra avaliação foi em relação ao tamanho da pupila ao longo das etapas do FITradeoff para cada grupo de problemas (ver Tabela 17 e Figura 13). Para o grupo de problemas consistentes foi aplicado o teste T pareado, enquanto para o grupo de problemas em que foram observadas inconsistências foi aplicado o teste pareado de Wilcoxon.

Tabela 17 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 1.

Dilatação da pupila corrigida por <i>baseline</i>		
	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	0,09607	0,2754
Etapa 2 x Etapa 4	0,0001375	0,04883
Etapa 3 x Etapa 4	0,001196	0,4316

Fonte: O Autor (2021).

Figura 13 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Aqui, os resultados indicam o crescimento do tamanho da pupila entre todas as etapas para problemas sem inconsistências ($p < 0,10$), enquanto, para problemas com inconsistências, foi identificado um crescimento entre a primeira e a última etapa ($p < 0,05$). Ou seja, houve um aumento do esforço cognitivo ao longo do processo de elicitação de problemas consistentes, principalmente durante a última etapa em que ocorre a definição do espaço das constantes de escala e a busca por uma solução ótima. Isso é verdade para problemas com inconsistências apenas entre a etapa da ordenação das constantes de escala e a etapa de elicitação flexível.

Com relação a potência da banda teta, verificou-se diferenças entre os problemas com e sem inconsistência em cada uma das três etapas. Os resultados a partir do teste de Wilcoxon podem ser verificados a seguir na Tabela 18.

De maneira geral, os problemas sem inconsistências apresentaram valores maiores de potência da banda teta para alguns canais em todas as etapas, indicando maior esforço demandado para esse grupo em comparação àqueles com inconsistências.

Tabela 18 – Diferença na potência teta entre problemas com ou sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 1.

Potência da banda teta			
	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
AF 3			
AF 4	Consistente > Inconsistente*		
F3			
F4			Consistente > Inconsistente*
F7			
F8			
FC 5			
FC 6	Consistente > Inconsistente***	Consistente > Inconsistente**	Consistente > Inconsistente**
O1			Consistente > Inconsistente*
O2			
P7			
P8			
T7	Consistente > Inconsistente**		
T8	Consistente > Inconsistente*	Consistente > Inconsistente*	

*p<0,10 **p<0,05 ***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

Foi avaliado também a diferença entre etapas da potência teta para cada grupo. Os resultados podem ser conferidos na Tabela 19, sendo que o teste pareado de Wilcoxon foi aplicado para o grupo com inconsistências observadas e o teste T pareado para o grupo sem inconsistências.

Aqui, os resultados indicaram crescimento da potência ao longo das etapas para ambos os grupos em boa parte dos canais do EEG, sendo isso mais evidente, contudo, para o grupo sem inconsistências.

Tabela 19 – Diferença na potência teta entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 1.

Potência da banda teta						
	Inconsistente			Consistente		
	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
AF3		Aumentou*	Aumentou*	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou**
AF4	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou***		Aumentou**	Aumentou**
F3				Aumentou***	Aumentou*	
F4				Aumentou**	Aumentou**	
F7	Aumentou*	Aumentou**		Aumentou***	Aumentou***	
F8	Aumentou*			Aumentou*	Aumentou**	
FC5						
FC6					Aumentou*	
O1					Aumentou***	Aumentou*
O2				Aumentou***	Aumentou***	
P7		Aumentou*		Aumentou*	Aumentou**	
P8	Aumentou*	Aumentou**	Aumentou**			
T7	Aumentou**	Aumentou*			Aumentou***	Aumentou***
T8					Aumentou**	

*p<0,10

**p<0,05

***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

A análise de assimetria frontal alfa também foi realizada aqui. A primeira análise comparou os valores entre os problemas classificados como consistentes e inconsistentes em cada uma das etapas do FITradeoff a partir do teste de Wilcoxon são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre problemas com ou sem inconsistências entre as etapas do SAD do FITradeoff para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa		
	F8/F7	F4/F3
	Consistente x Inconsistente	Consistente x Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2	0,2391	0,4587
Etapa 3	0,4119	0,1866
Etapa 4	0,3724	0,1129

Fonte: O Autor (2021).

Os resultados não indicaram diferenças estatisticamente significativas. Outra análise feita comparou os valores de assimetria frontal alfa entre as etapas para cada tipo de problema. Os

resultados do teste T pareado, para problemas consistentes, e do teste pareado de Wilcoxon, para problemas inconsistentes, podem ser vistos na Tabela 21 a seguir.

Tabela 21 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa				
	F8/F7		F4/F3	
	Consistente	Inconsistente	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	0,2205	0,1641	0,8956	0,4961
Etapa 2 x Etapa 4	0,5719	0,7344	0,9712	0,7344
Etapa 3 x Etapa 4	0,5877	0,3008	0,9293	0,1641

Fonte: O Autor (2021).

Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada, indicando que não houve variação no engajamento ao longo do processo de elicitação para qualquer tipo de problema.

3.2.5 Influência do número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério

Para avaliar as questões cognitivas subjacentes ao processo de elicitação de preferências e sua relação com os fatores número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério, foram analisados dados sobre o tempo de resposta, dilatação da pupila, medidas de potência da banda teta e assimetria frontal alfa. Ressalta-se que o número de alternativas não foi inserido nas análises visto que o decisor não interage durante o processo de elicitação com tal variável.

Aqui, novamente, as análises foram feitas considerando as três etapas do processo de elicitação. Com relação ao tempo de resposta na Etapa 2, foi realizada uma ANOVA considerando dois fatores: o tipo de critério predominante e o número de critérios nos problemas e sua interação (ver Tabela 22) Os resultados, contudo, não indicaram efeito significativo.

Tabela 22 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 2 no Experimento 1.

Tempo de resposta na Etapa 2		
	F	p
Tipo de critério predominante	0,174	0,841
Número de critérios	1,887	0,177
Tipo de critério predominante e Número de critérios	0,043	0,958

Fonte: O Autor (2021).

Semelhantemente, foi feita a mesma análise para a Etapa 3 de exploração do espaço de consequências. Os mesmos fatores foram considerados na ANOVA realizada, contudo, nenhum resultado significativo foi identificado conforme se constata a Tabela 23 a seguir.

Tabela 23 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 3 no Experimento 1.

Tempo de resposta na Etapa 3		
	F	p
Tipo de critério predominante	1,747	0,187
Número de critérios	0,096	0,759
Tipo de critério predominante e Número de critérios	1,724	0,190

Fonte: O Autor (2021).

Ainda com relação ao tempo de resposta, foi realizada uma ANOVA para a Etapa 4 considerando, além do número de critérios e tipo predominante de critério, o número de perguntas feitas na elicitación flexível e a interação entre tais fatores (ver Tabela 24).

Aqui, contudo, identificou-se o fator número de perguntas na Etapa 4 com efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o tempo de resposta, sendo que os problemas com mais que 5 perguntas feitas nessa etapa apresentaram tempo de resposta menor ($16,72 \pm 5,91s$) que os problemas com até 5 perguntas feitas ($22,68 \pm 8,20s$). Mais uma vez, observa-se o efeito de aprendizagem, levando a reduções no tempo à medida que se aumenta o número de perguntas.

Tabela 24 – ANOVA para o tipo de critério predominante, número de perguntas na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com o tempo de resposta na Etapa 4 no Experimento 1.

Tempo de resposta na Etapa 4		
	F	p
Tipo de critério predominante	0,077	0,926
Número de perguntas na Etapa 4	4,258	0,048
Número de critérios	0,213	0,648
Tipo de critério predominante e Número de perguntas na Etapa 4	0,095	0,909
Tipo de critério predominante e Número de critérios	2,264	0,121
Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	0,039	0,845
Tipo de critério predominante, Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	0,193	0,825

Fonte: O Autor (2021).

Os dados de dilatação de pupila também foram considerados aqui para análises. Assim, como para o tempo de resposta, na Etapa 2, uma ANOVA foi realizada considerando dois fatores: o tipo de critério predominante e o número de critérios nos problemas e sua interação (ver Tabela 25).

Tabela 25 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 2 no Experimento 1.

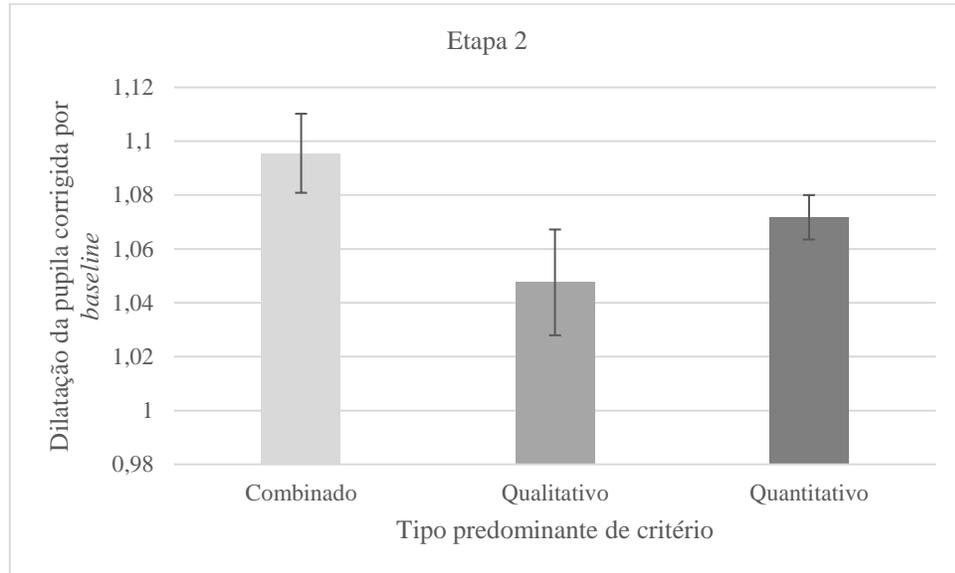
Dilatação da pupila na Etapa 2		
	F	p
Tipo de critério predominante	2,512	0,093
Número de critérios	1,006	0,321
Tipo de critério predominante e Número de critérios	0,272	0,763

Fonte: O Autor (2021).

Os resultados indicam a influência do tipo de critério predominante no tamanho da pupila durante a Etapa 2. A análise post hoc mostrou que o tamanho da pupila foi maior para os problemas classificados como combinados em comparação aos classificados como qualitativos ($p < 0,10$), indicando que mais esforço cognitivo é exigido no primeiro grupo em comparação com

o segundo. A Figura 14 mostra a diferença observada no tamanho das pupilas entre os tipos de problemas com base no critério predominante.

Figura 14 – Dilatação da pupila corrigida por baseline durante a Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

A análise do tamanho da pupila também foi realizada para a Etapa 3. A Tabela 26 apresenta o resultado da ANOVA considerando o tipo de critério predominante e o número de critérios como fatores e sua interação. Aqui, não foram observados resultados estatisticamente significantes quanto à influência dos fatores no tamanho da pupila.

Tabela 26 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 3 no Experimento 1.

Dilatação da pupila na Etapa 3		
	F	p
Tipo de critério predominante	1,276	0,29
Número de critérios	0,308	0,582
Tipo de critério predominante e Número de critérios	0,024	0,976

Fonte: O Autor (2021).

Finalmente, o tamanho da pupila foi analisado para a Etapa 4, onde o espaço das constantes de escala é definido. Conforme discutido anteriormente, nesta Etapa, o número de perguntas não

depende apenas do número de critérios. Assim, o número de perguntas feitas na Etapa 4 foi incluído na ANOVA como um fator (ver Tabela 27). Os resultados mostraram que o tipo de critério e a interação do tipo de critério predominante com o número de questões influenciam no tamanho da pupila na Etapa 4 ($p < 0,10$).

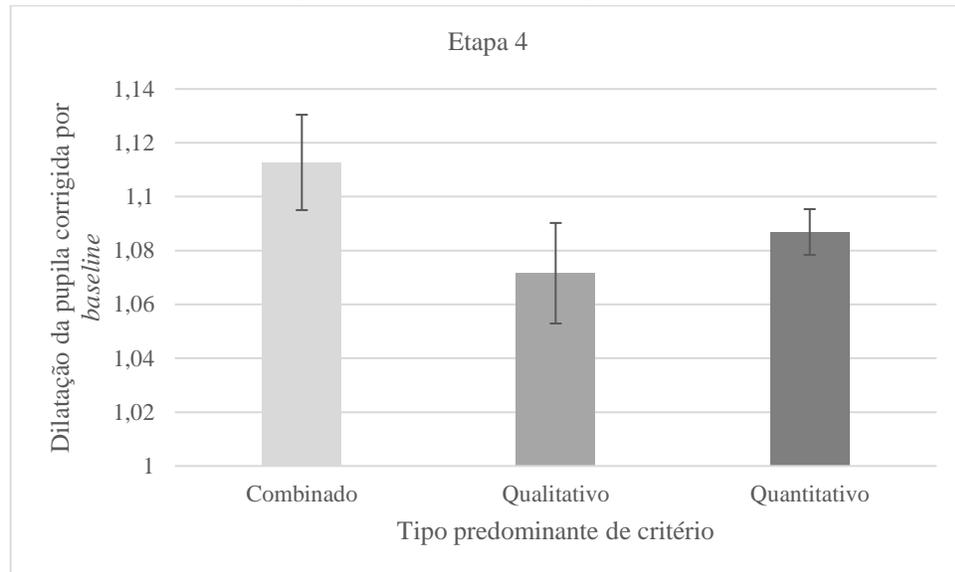
Tabela 27 – ANOVA para o tipo de critério predominante, número de perguntas na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com a dilatação da pupila na Etapa 4 no Experimento 1.

Dilatação da pupila na Etapa 4		
	F	p
Tipo de critério predominante	2,696	0,083
Número de perguntas na Etapa 4	1,408	0,244
Número de critérios	0,151	0,700
Tipo de critério predominante e Número de perguntas na Etapa 4	2,581	0,092
Tipo de critério predominante e Número de critérios	0,088	0,916
Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	0,000	0,984
Tipo de critério predominante, Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	0,653	0,528

Fonte: O Autor (2021).

Para o tipo de critério, como na Etapa 2, a análise post hoc identificou diferenças no tamanho da pupila apenas entre os problemas classificados como combinado e qualitativo ($p < 0,10$). Essas diferenças são apresentadas na Figura 15.

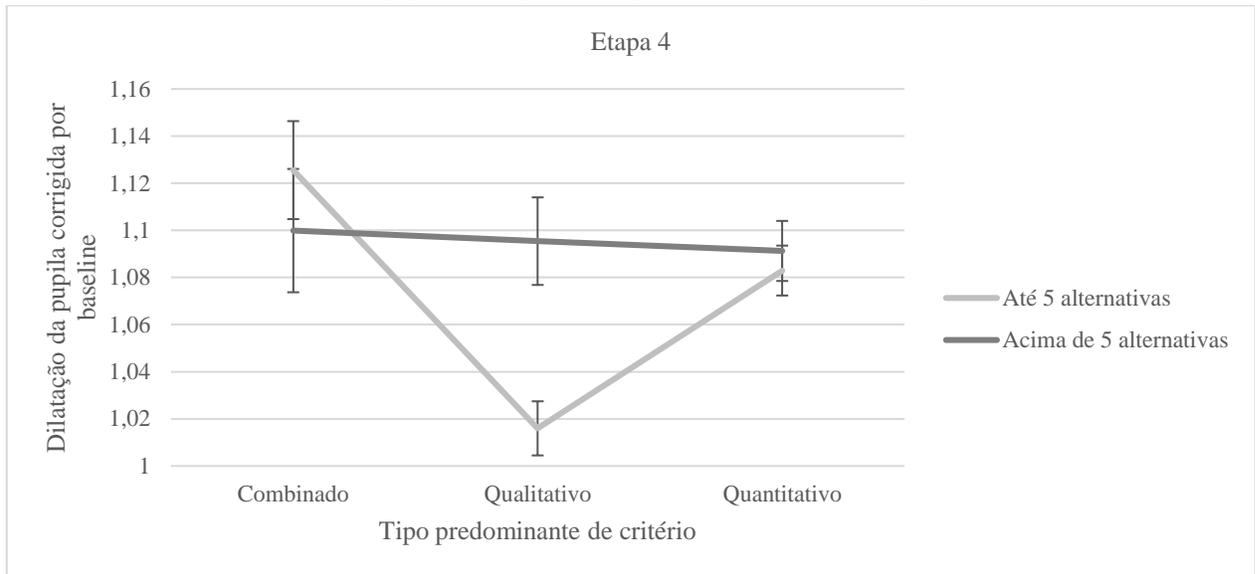
Figura 15 – Dilatação da pupila corrigida por baseline durante a Etapa 4 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Quanto à interação entre o tipo de critério predominante e o número de questões da Etapa 4, observou-se na análise post hoc que apenas para problemas classificados como qualitativos, o aumento do número de questões na Etapa 4 foi acompanhado por um aumento no tamanho da pupila ($p < 0,05$). Também foi observado que na situação em que há até 5 questões na Etapa 4, os problemas classificados como qualitativos apresentaram um tamanho de pupila menor em comparação com os problemas classificados como combinados ($p < 0,05$) (ver Figura 16). Assim, sugere-se que apenas para problemas classificados como qualitativos haja sensibilidade no que se refere ao esforço cognitivo de acordo com o número de questões da Etapa 4.

Figura 16 – Interação entre o tipo de critério predominante e o número de alternativas de questões na Etapa 4 com o tamanho da pupila na Etapa 4 no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

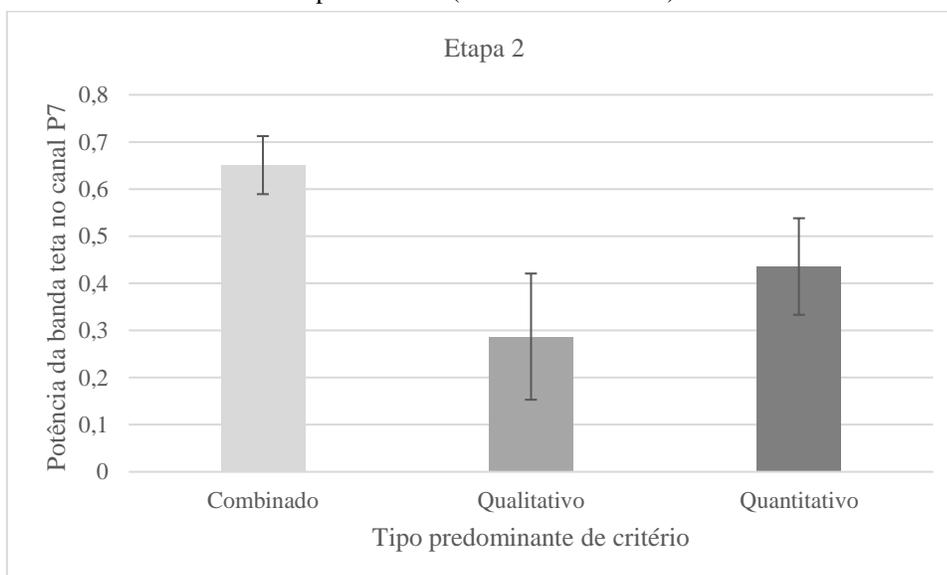
Quanto aos dados do EEG, a análise de potência da banda teta foi incluída aqui também. Para a Etapa 2, foi realizada uma ANOVA considerando o tipo de critério predominante e o número de critérios no problema, bem como a interação entre eles (ver Tabela 28). Os resultados mostraram uma influência significativa do tipo de critério predominante na potência teta no canal P7 ($p < 0,10$). A análise post hoc indicou valores mais elevados de poder teta para os problemas classificados como combinados em relação aos problemas classificados como qualitativos ($p < 0,10$) conforme mostrado na Figura 17. Esses resultados estão em linha com os obtidos na análise do tamanho da pupila, indicando o maior esforço cognitivo exigido para problemas classificados como combinados em comparação com aqueles classificados como qualitativos.

Tabela 28 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 2 no Experimento 1.

Potência da banda teta na Etapa 2						
	Tipo de critério predominante		Número de critérios		Tipo de critério predominante e Número de critérios	
	F	p	F	p	F	p
AF3	1,499	0,235	1,515	0,225	0,173	0,842
AF4	0,984	0,383	0,127	0,723	1,005	0,375
F7	0,962	0,39	0,79	0,379	0,184	0,832
F8	0,598	0,555	0,381	0,54	0,062	0,94
F3	1,048	0,36	1,957	0,169	1,579	0,218
F4	0,796	0,458	0,173	0,68	0,993	0,379
FC5	0,871	0,426	0,063	0,803	1,909	0,161
FC6	0,192	0,826	0,742	0,394	0,762	0,473
O1	0,616	0,545	1,249	0,27	1,369	0,266
O2	0,034	0,967	0,61	0,439	0,051	0,951
P7	2,694	0,08	1,757	0,193	2,264	0,117
P8	0,521	0,598	0,022	0,883	0,112	0,894
T7	1,138	0,33	5,622	0,023	0,083	0,92
T8	0,405	0,669	0,233	0,632	0,9	0,414

Fonte: O Autor (2021).

Figura 17 – Potência da banda teta no canal P7 na Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021).

Além disso, os resultados da ANOVA indicam a influência do número de critérios na potência teta no canal T7 ($p < 0,05$), com valores mais elevados observados para problemas com até 5 critérios ($0,538 \pm 0,405$) em comparação aos problemas com mais de 5 critérios ($0,192 \pm 0,519$). Esse resultado vai na direção oposta ao esperado, uma vez que com o aumento do número de critérios, espera-se um aumento na demanda cognitiva do decisor. No entanto, a redução do poder da banda teta pode indicar que o decisor adotou uma estratégia de minimizar o esforço cognitivo em situações onde mais critérios estavam envolvidos. Para a combinação dos fatores, não foram observados resultados significativos.

A mesma análise foi feita para a Etapa 3 e os resultados da ANOVA podem ser vistos na Tabela 29. Já para a etapa anterior, foi observada a influência do número de critérios na potência teta no canal T7 ($p < 0,05$). O poder teta para problemas com 5 ou menos critérios ($0,560 \pm 0,373$) foi maior do que para problemas com mais de 5 critérios ($0,242 \pm 0,518$). Aqui, a mesma interpretação para a Etapa 2 é aplicada. Por fim, não foram observados resultados significativos para o tipo de critério predominante ou para sua combinação com o número de critérios em algum canal na Etapa 3.

Já na Etapa 4, foi realizada uma ANOVA considerando também o número de questões feitas nesta etapa. Os resultados mostraram que a potência da banda teta foi influenciada pelo número de critérios ($p < 0,05$) no canal T7, bem como pela combinação do número de questões com o número de critérios ($p < 0,10$) no canal O2 e o combinação do tipo de critério predominante, o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios no canal AF4 ($p < 0,05$) (ver Tabela 30).

Tabela 29 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 3 no Experimento 1.

Potência da banda teta na Etapa 3						
	Tipo de critério predominante		Número de critérios		Tipo de critério predominante e Número de critérios	
	F	P	F	P	F	P
AF3	0,804	0,455	1,556	0,219	0,367	0,695
AF4	0,151	0,86	0,003	0,959	0,605	0,551
F7	0,492	0,615	0,043	0,837	0,612	0,547
F8	0,095	0,91	0,4	0,531	0,096	0,909
F3	1,342	0,273	2,074	0,157	0,936	0,4
F4	0,632	0,537	1,138	0,292	0,357	0,702
FC5	0,272	0,763	0,442	0,51	1,9	0,162
FC6	0,058	0,944	0,198	0,658	0,136	0,873
O1	0,493	0,614	2,231	0,143	1,359	0,269
O2	0,036	0,965	0,01	0,922	0,151	0,86
P7	1,091	0,346	2,263	0,14	2,151	0,13
P8	0,241	0,787	0,483	0,491	0,119	0,888
T7	0,696	0,504	4,722	0,036	0,267	0,767
T8	0,706	0,499	0,564	0,457	0,806	0,453

Fonte: O Autor (2021).

Tabela 30 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com o poder da banda teta na Etapa 4 no Experimento 1.

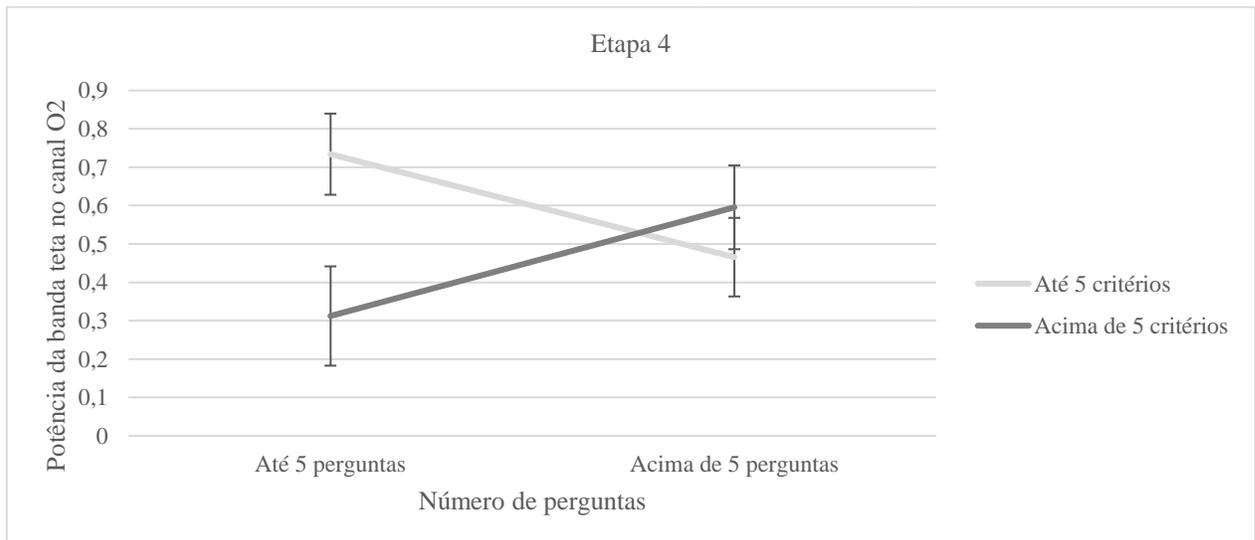
Potência da banda teta na Etapa 4														
	Tipo predominante de critério		Número de perguntas na Etapa 4		Número de critérios		Tipo predominante de critério e Número de perguntas na Etapa 4		Tipo predominante de critério e Número de critérios		Number of criteria e Número de perguntas na Etapa 4		Tipo predominante de critério e Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
AF3	0,631	0,539	0,098	0,756	0,123	0,728	0,419	0,661	0,028	0,972	1,578	0,219	1,41	0,26
AF4	0,582	0,565	0,501	0,485	0,265	0,61	1,113	0,342	1,262	0,298	0	0,985	3,648	0,038
F7	0,497	0,613	0,099	0,755	0,926	0,343	0,728	0,491	0,268	0,766	0,22	0,642	1,695	0,2
F8	0,355	0,704	0,009	0,927	0,005	0,942	0,101	0,904	0,327	0,723	1,684	0,204	1,172	0,323
F3	0,309	0,736	1,082	0,307	2,437	0,129	0,22	0,804	0,922	0,409	1,065	0,31	0,902	0,416
F4	2,234	0,124	0,17	0,683	0,797	0,379	0,385	0,683	2,064	0,144	0	0,99	0,966	0,392
FC5	0,351	0,707	0,05	0,825	0,001	0,978	1,421	0,257	1,893	0,168	0,175	0,679	0,352	0,706
FC6	0,224	0,801	0,014	0,906	0,307	0,584	0,298	0,744	0,323	0,727	0,292	0,593	0,343	0,712
O1	1,426	0,256	0,5	0,485	1,403	0,245	1,194	0,317	0,813	0,453	2,679	0,112	0,153	0,858
O2	0,47	0,629	0,034	0,854	1,62	0,213	0,15	0,862	0,384	0,684	4,139	0,051	0,119	0,888
P7	0,571	0,571	0,127	0,724	1,682	0,205	0,165	0,849	1,772	0,188	0,75	0,393	1,928	0,164
P8	0,249	0,781	0,131	0,72	0,135	0,716	0,415	0,664	0,686	0,511	0,04	0,842	0,597	0,557
T7	0,266	0,768	0,8	0,379	5,125	0,031	1,282	0,293	0,3	0,743	0,075	0,786	0,452	0,641
T8	0,368	0,695	0,126	0,725	0,104	0,749	0,107	0,899	0,347	0,71	0,008	0,927	1,775	0,186

Fonte: O Autor (2021).

Para o número de critérios, foi observada uma relação negativa com a potência da banda teta no canal T7. Problemas com até 5 critérios mostraram maior poder teta ($0,650 \pm 0,396$) do que problemas com mais de 5 critérios ($0,265 \pm 0,536$). Semelhante ao que aconteceu na Etapa 2 e na Etapa 3, com o aumento do número de critérios, houve uma redução na potência da banda teta, ao contrário do esperado. Essa redução da demanda cognitiva com o aumento do número de critérios pode ser explicada pelo fato de o decisor adotar uma abordagem que minimiza o esforço à medida que o número de critérios aumenta (FEHRENBACHER; DJAMASBI, 2017; PAYNE; BETTMAN; JOHNSON, 1993; PUMA et al., 2018).

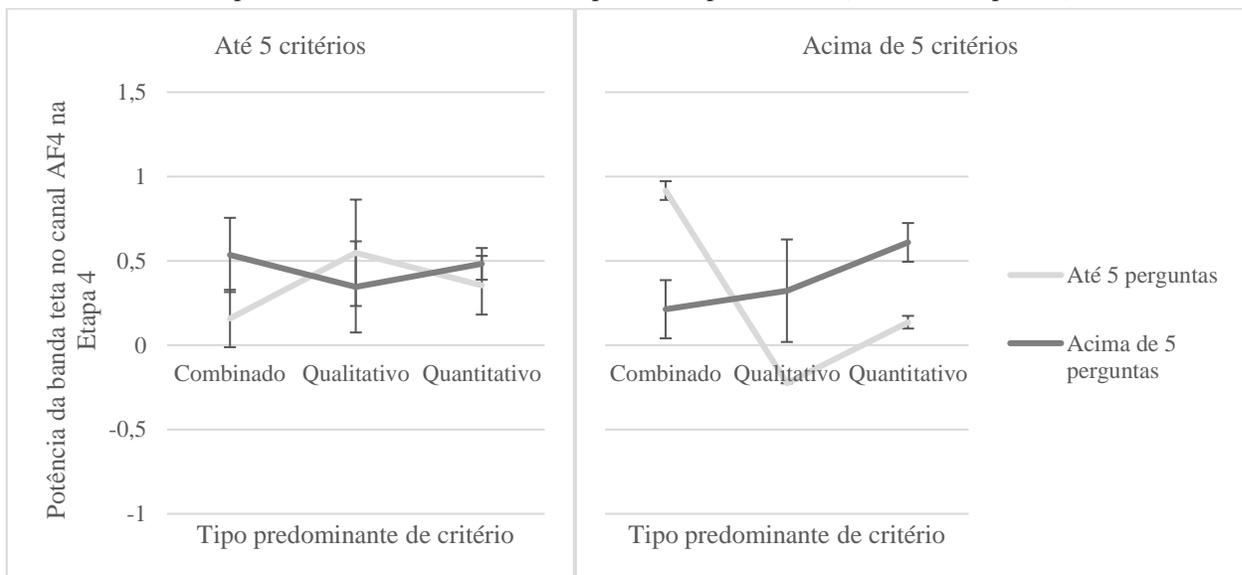
Quanto ao efeito combinado entre o número de questões na Etapa 4 e o número de critérios, a análise post hoc indicou uma diminuição no poder teta para problemas com até 5 critérios quando o número de questões na Etapa 4 aumentou no canal O2 ($p < 0,10$). Além disso, neste canal, para problemas com até 5 questões na etapa 4, o poder teta diminuiu com o aumento do número de critérios ($p < 0,05$). Por fim, na situação em que há muitas perguntas na Etapa 4, o aumento no número de critérios não gerou uma diferença na potência teta. Da mesma forma, não houve diferença no poder teta com a variação no número de questões na Etapa 4 na situação em que há mais de 5 critérios. A Figura 18 mostra os resultados. Tal evidência demonstra que estratégias são utilizadas para minimizar o esforço cognitivo quando há um aumento no esforço exigido de um decisor devido ao número de critérios e questões da Etapa 4.

Figura 18 – Interação entre o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios com a potência teta no canal O2 na Etapa 4 no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Em relação ao efeito combinado dos três fatores, observou-se que para problemas classificados como combinados e com mais de 5 critérios, o aumento do número de questões na Etapa 4 é acompanhado por uma diminuição da potência teta no canal AF4 ($p < 0,10$). Verificou-se também que na situação em que existem mais de 5 critérios e até 5 questões na Etapa 4, os problemas classificados como Combinados apresentam maior poder teta do que os problemas classificados como qualitativos ($p < 0,10$). Finalmente, a análise post hoc indicou que, para os casos em que há até 5 questões na Etapa 4, apenas os problemas classificados como combinados mostraram um aumento no poder teta com um aumento no número de critérios ($p < 0,05$) (ver Figura 19). Aqui, novamente, os resultados indicam a prevalência de problemas classificados como combinados em termos de maior esforço cognitivo exigido. Além disso, os resultados reforçam o uso de estratégias de minimização da carga cognitiva quando maior esforço é necessário devido ao número de critérios e questões da Etapa 4.

Figura 19 – Interação entre o tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4 e o número de critérios com potência teta no canal AF4 na Etapa 4 no Experimento 1 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Finalmente, uma análise de assimetria frontal alfa foi realizada para os seguintes pares de canais: F4/F3 e F8/F7. Os resultados da ANOVA obtidos para o Etapa 2 podem ser visualizados na Tabela 31 a seguir considerando apenas o tipo de critério predominante e o número de critérios.

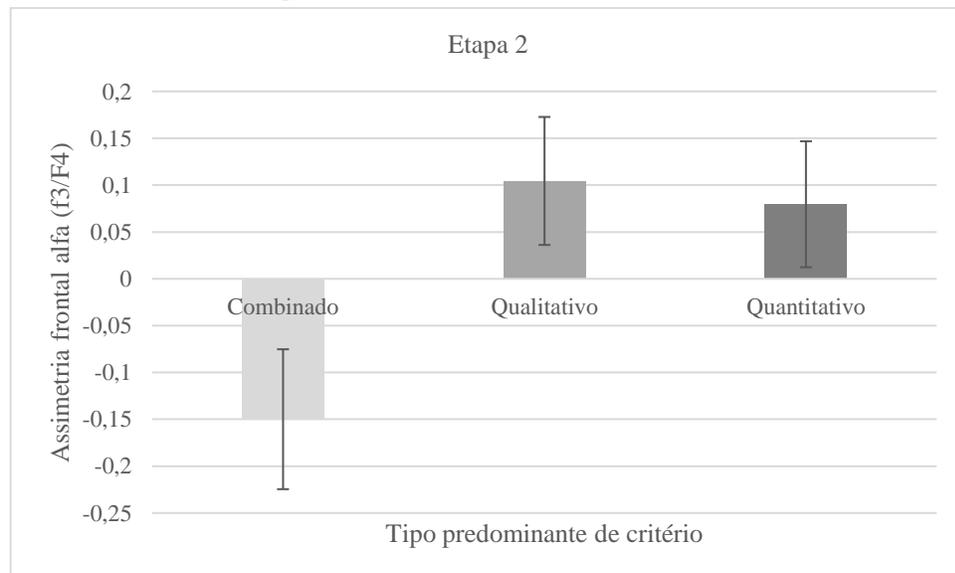
Tabela 31 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 2 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa na Etapa 2						
	Tipo de critério predominante		Número de critérios		Tipo de critério predominante e Número de critérios	
	F	p	F	p	F	p
F4/F3	3,675	0,034	2,294	0,137	0,228	0,797
F8/F7	0,304	0,74	0,83	0,368	0,027	0,973

Fonte: O Autor (2021).

Os resultados indicam influência apenas do tipo de critério predominante nos valores de assimetria frontal alfa para o par F3 / F4 ($p < 0,05$). A análise post hoc apresentou valores mais elevados para os problemas classificados como qualitativos e quantitativos em comparação aos problemas classificados como combinados ($p < 0,10$). Além disso, como pode ser visto na Figura 20, os valores de assimetria frontal alfa para os problemas classificados como combinados foram negativos. Esses resultados indicam que os problemas classificados como combinados geram baixo engajamento, ao contrário dos demais.

Figura 20 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 2 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021).

Para os demais casos, os valores de assimetria frontal alfa encontrados foram em torno de zero ou positivos, não havendo diferenças estatisticamente significativas nas comparações.

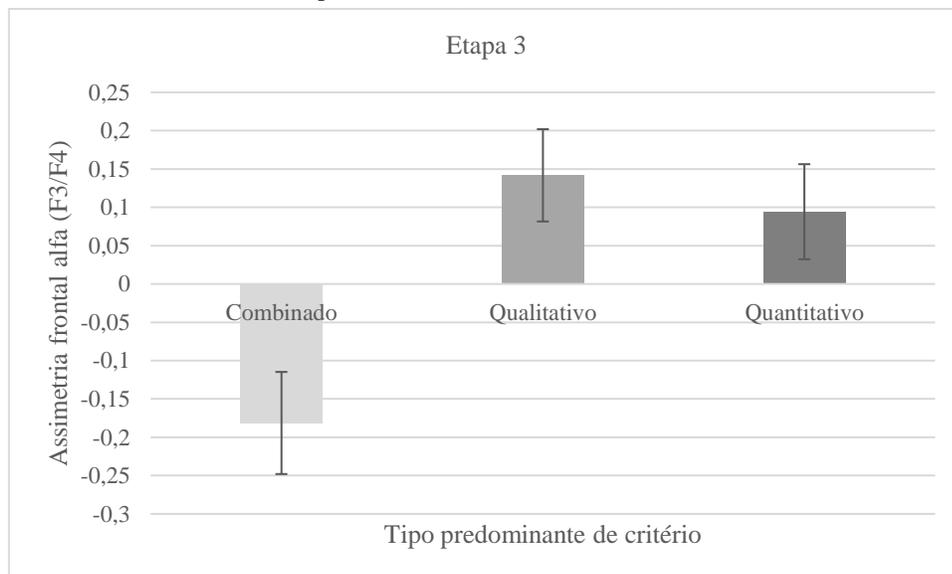
A mesma análise foi feita para a Etapa 3 e os resultados foram semelhantes. Apenas a influência do tipo de critério predominante na assimetria frontal alfa foi identificada para o par F3 / F4 ($p < 0,01$), com valores maiores e positivos para problemas classificados como qualitativos e quantitativos em comparação aos problemas classificados como combinados ($p < 0,05$) (ver Tabela 32 e Figura 21). Para os demais casos, os valores de assimetria frontal alfa se mostraram próximos de zero ou positivos.

Tabela 32 – ANOVA para o tipo de critério predominante, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 3 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa na Etapa 3						
	Tipo de critério predominante		Número de critérios		Tipo de critério predominante e Número de critérios	
	F	p	F	p	F	p
F4/F3	5,923	0,005	0,834	0,366	0,575	0,567
F8/F7	0,188	0,829	0	0,992	0,089	0,915

Fonte: O Autor (2021).

Figura 21 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 3 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021).

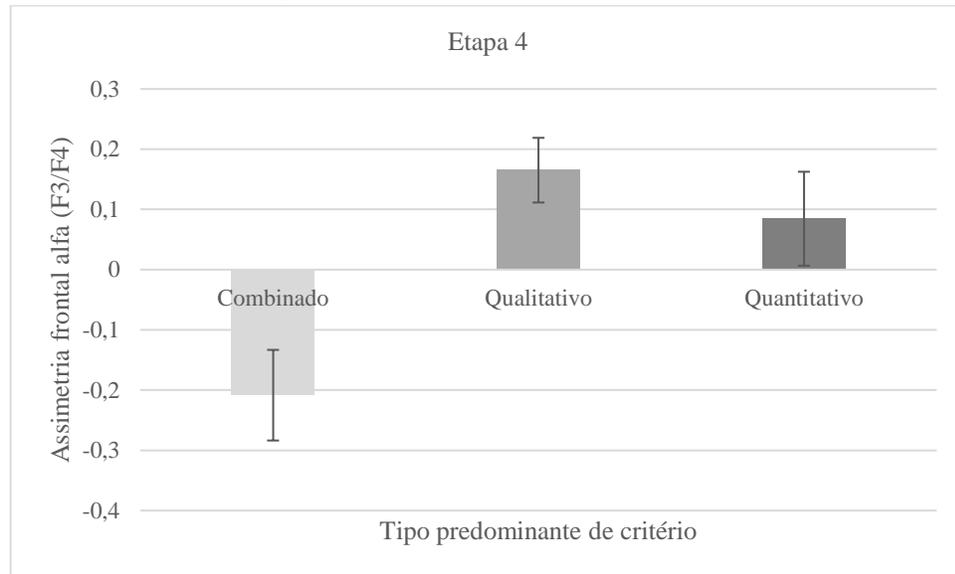
A última análise considerou o efeito do tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4 e o número de critérios na assimetria frontal alfa na Etapa 4. Os resultados da ANOVA mostraram o impacto do tipo de critério predominante na assimetria frontal alfa para o par F3 / F4 como nas outras etapas ($p < 0,05$) e o impacto do número de critérios com o número de questões na Etapa 4 na assimetria frontal alfa para o par F7 / F8 ($p < 0,10$) (ver Tabela 33). De acordo com a análise post hoc, os valores de assimetria frontal alfa para problemas classificados como combinados foram menores e negativos em comparação com os valores de assimetria frontal alfa dos problemas classificados como qualitativos e quantitativos ($p < 0,10$). Os valores de assimetria frontal alfa desses problemas foram positivos como pode ser visto na Figura 22. Quanto à combinação do número de critérios e do número de questões na Etapa 4, observou-se que para problemas com até 5 questões, com o aumento do número de critérios, a assimetria frontal alfa se tornou mais positiva ($p < 0,10$), conforme mostrado na Figura 23.

Tabela 33 – ANOVA para o tipo de critério, número de questões na Etapa 4, o número de critérios e sua combinação com a assimetria frontal alfa na Etapa 4 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa na Etapa 4				
	F4/F3		F8/F7	
	F	p	F	p
Tipo de critério predominante	4,447	0,02	1,084	0,351
Número de perguntas na Etapa 4	1,42	0,243	1,063	0,31
Número de critérios	0,193	0,663	0,583	0,451
Tipo de critério predominante e Número de perguntas na Etapa 4	0,085	0,919	0,73	0,49
Tipo de critério predominante e Number of criteria	0,774	0,47	0,451	0,641
Número de critérios e Número de perguntas na Etapa 4	0,022	0,884	3,176	0,085
Tipo de critério predominante e Número de perguntas na Etapa 4 e Número de critérios	0,666	0,521	0,399	0,675

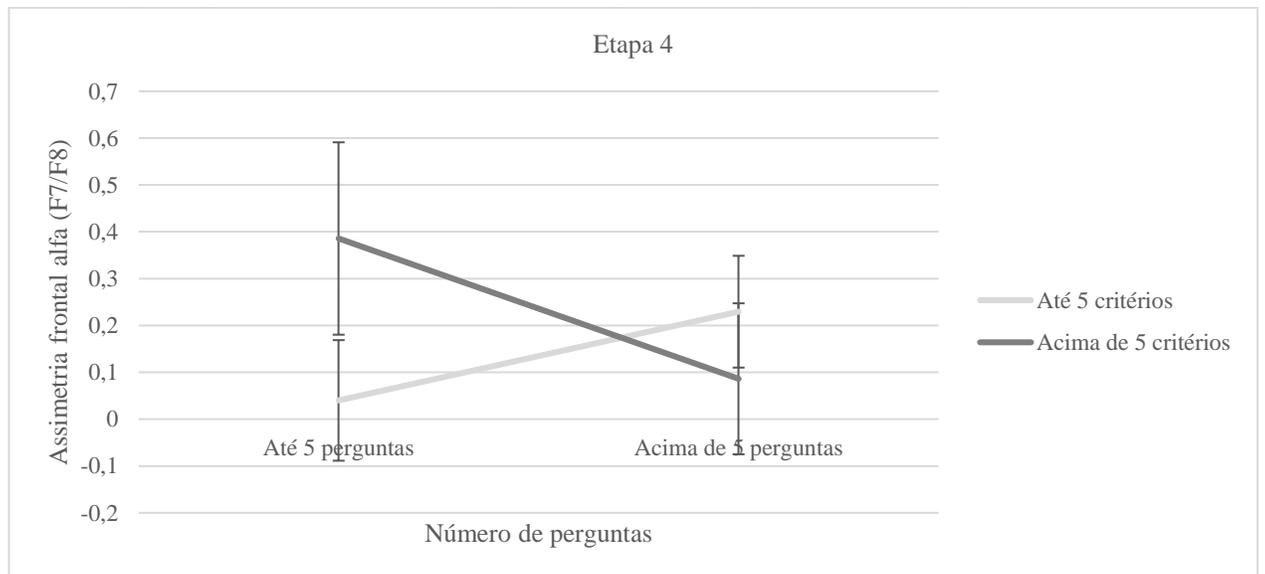
Fonte: O Autor (2021).

Figura 22 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 durante a Etapa 4 em função do tipo predominante de critério no Experimento 1 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021).

Figura 23 – Interação entre o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios com assimetria frontal alfa para o par de canais F7 / F8 na Etapa 4 no Experimento 1 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021).

Diante de todas as análises realizadas, foi feito um resumo dos resultados obtidos com as medidas psicofisiológicas ao longo do processo de elicitação das preferências o qual pode ser conferido na seção 3.4.

3.2.6 Considerações Finais

A partir dos resultados desse experimento foi possível verificar a vantagem do método FITradeoff a partir do qual uma recomendação de decisão pode ser obtida com poucas perguntas feitas, em um processo que demanda pouco tempo do decisor. Foi constatado ainda o incremento do esforço cognitivo com o avanço das etapas do processo de elicitación de preferências em consonância com o incremento da complexidade demandada.

Com relação à consistência, os resultados indicaram incremento no esforço cognitivo à medida em que se avança nas etapas do processo de elicitación de preferências melhor observado para o grupo de problemas sem inconsistências observadas. Tal resultado reforça a importância do esforço cognitivo para o processo de elicitación, mantendo os decisores envolvidos durante a resolução do problema de decisão. Além disso, quanto ao número de perguntas e de critérios, constatou-se uma relação não linear delas com o esforço cognitivo, indicando a adoção de estratégias de minimização de esforço conforme melhor comentado e discutido na seção 3.4.

Por fim, o tipo predominante de critério exerce influência sobre o esforço cognitivo dos decisores. De modo geral, problemas com critérios predominantemente combinados demandam mais que problemas com critérios em sua maioria qualitativos. Esses últimos, por sua vez, geram engajamento positivo e superior ao observado para problemas com critérios quantitativos. Já os problemas com critérios combinados geram engajamento negativo nos decisores durante o processo de elicitación de preferências.

3.3 Experimento 2 – Uso Do Sistema de Apoio a Decisão do FITradeoff por Participantes do Perfil 2

Em consonância ao que foi realizado para o experimento 1, nesta seção são apresentados e discutidos aspectos relevantes ao processo de elicitación de preferências e à geração de inconsistências, sendo elas, sem sua maioria, associadas à redundância de informação introduzida nesse estudo e não ao processo de elicitación do FITradeoff em si, a partir dos dados do experimento 2 que contou com uma amostra formada por decisores com um perfil distinto. Mais

uma vez, o tempo de resposta, dilatação da pupila e potência de bandas de frequência foram consideradas nas análises feitas.

3.3.1 Desenho do experimento

Neste experimento, o SAD do FITradeoff foi mais uma vez utilizado com a incorporação do teste de inconsistências. A amostra, contudo, foi composta por alunos de graduação em administração com pouco conhecimento em métodos multicritério. Os problemas resolvidos, diferentemente do que aconteceu com o experimento 1, foi padrão. Tratou-se do problema de escolha de um smartphone composto por cinco alternativas de decisão e cinco critérios: Price (R\$), Camera (MP), Memory/Storage (GB), Battery (hours) e Screen Size (inches). A matriz de consequências é apresentada na Tabela 34 a seguir.

Tabela 34 – Matriz de consequências do experimento 2.

Matriz de consequências					
	Price (R\$)	Camera (MP)	Memory/Storage (GB)	Battery (hours)	Screen Size (inches)
Smartphone 1	5139	12	256	12	5,8
Smartphone 2	2849	12	128	14	5,8
Smartphone 3	1689	8	64	14	6,24
Smartphone 4	950	8	16	10	5,5
Smartphone 5	2749	12	32	10	4,7

Fonte: O Autor (2021).

Buscou-se aqui o tratamento de um problema acessível para os participantes com critérios relevantes para o contexto. Se por um lado houve perda de realidade por se tratar de um problema padrão, por outro, houve ganho em padronização para as análises feitas. Apesar disso, algumas características variaram entre os participantes no processo decisório durante os experimentos, tais como o número de inconsistências e o número de perguntas na elicitação flexível, e são discutidas nas seções a seguir.

3.3.2 Características dos Problemas de Decisão

Conforme mencionado anteriormente, apenas 27 problemas de decisão foram considerados na amostra. Todos eles continham cinco alternativas de decisão e cinco critérios, sendo esses, quantitativos. Acerca do número de inconsistências, a maioria não apresentou inconsistências. Mais uma vez, essa quantidade está relacionada ao número de inequações geradas na Etapa 3 a qual é dependente da quantidade de critérios e que, sendo nesse experimento sendo de cinco, tem-se o valor de três como o máximo possível. Aqui, contudo, ficou mais uma vez evidente a vantagem do método FITradeoff em reduzir as inconsistências.

3.3.3 Análise do Processo

Com relação à quantidade de perguntas feitas nas etapas do processo de elicitação, vale lembrar que, dado a sua estrutura, o número de perguntas nas Etapas 2 e 3 são sempre iguais a $n-1$ e $n-2$, respectivamente, com um mínimo de 2 questões nesta Etapa 3, em que n é o número de critérios do problema. Assim, somando-se o fato de todos os problemas resolvidos na amostra considerada serem o problema padrão de escolha de smartphone com 5 critérios, o número de perguntas feitas na Etapa 2 foi de 4, enquanto na Etapa 3, esse número foi de 3. Por sua vez, na Etapa 4, em que a quantidade é variável, os resultados indicaram que a maioria dos problemas requisitou até duas perguntas (29,63%) ou entre seis e 11 perguntas (29,63%) conforme apresentado na Tabela 35.

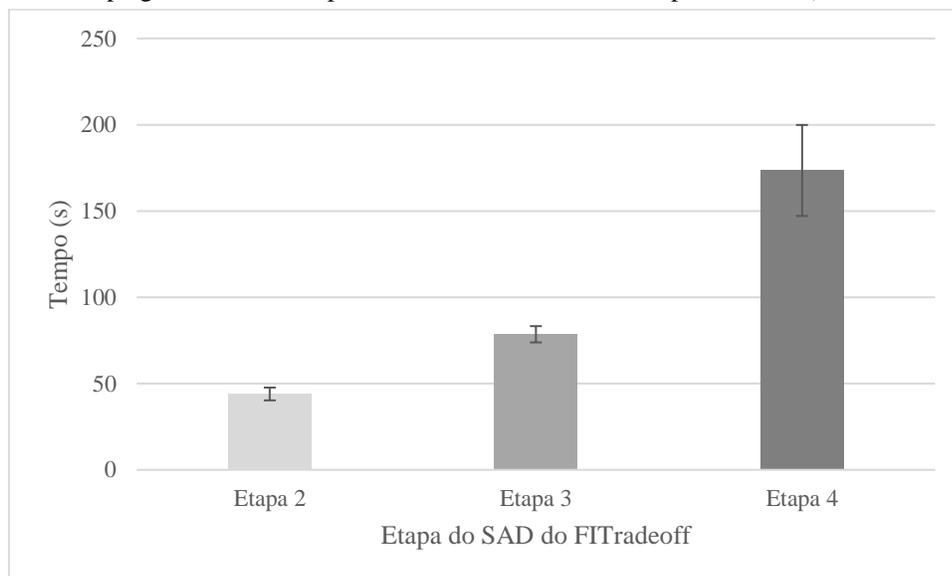
Apesar desses números serem maiores que os observados no Experimento 1, ainda são relativamente baixos e demonstram a vantagem do método FITradeoff frente a procedimento *tradeoff*.

Tabela 35 – Número de problemas de decisão em função do número de perguntas na Etapa 4 no Experimento 2.

Etapa 4		
Número de perguntas	Número de problemas de decisão	%
00 – 02	8	29,63
03 – 05	1	3,70
06 – 08	3	11,11
09 – 11	5	18,52
12 – 14	2	7,41
15 – 17	2	7,41
18 – 20	2	7,41
21 ou mais	4	14,81

Fonte: O Autor (2021).

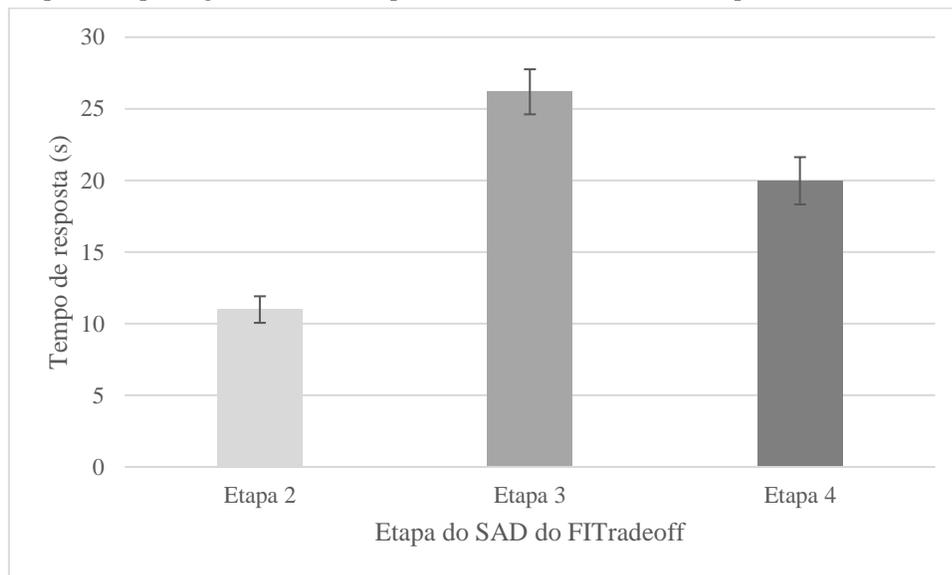
Os dados de tempo nesse experimento evidenciaram mais uma vez a vantagem do método de não exigir muito tempo para que uma recomendação de decisão seja fornecida conforme se observa na Figura 24 a seguir.

Figura 24 – Tempo gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).

Fonte: O Autor (2021).

Assim como no experimento 1, o tempo demandado foi crescente ao longo das etapas (teste pareado de Wilcoxon, $p < 0,01$), sendo o tempo médio para a Etapa 2 de 43,94 segundos (DP: 19,26s), enquanto para a Etapa 3 foi de um minuto e 18 segundos (DP: 24,52s) e para a Etapa 4 de dois minutos e 53 segundos (DP: 137,02s) aproximadamente. Tal análise foi feita considerando ainda o tempo de resposta e os dados são apresentados na Figura 25.

Figura 25 – Tempo de resposta gasto em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).

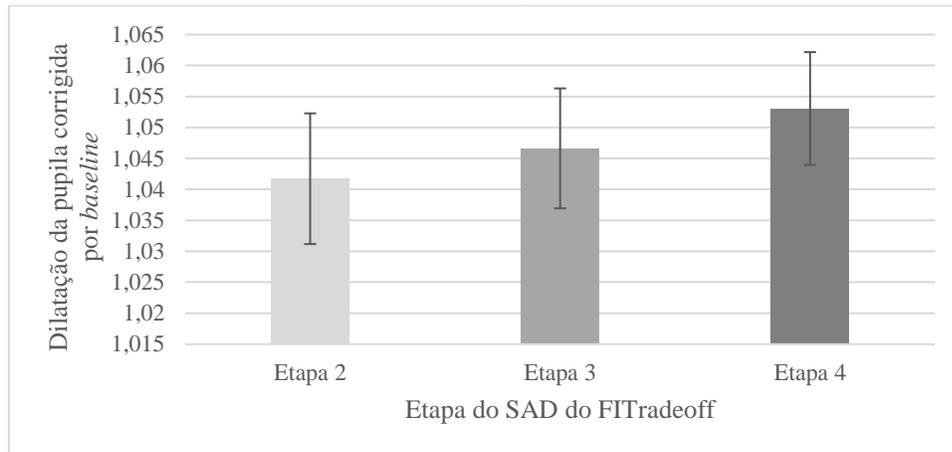


Fonte: O Autor (2021).

A análise estatística indicou diferença significativa entre todas as etapas (teste pareado de Wilcoxon, $p < 0,01$). Assim, entre a Etapa 2 (10,99 \pm 4,81s) e a Etapa 3 (26,19 \pm 8,17s) e entre a Etapa 2 e a Etapa 4 (19,98 \pm 8,57s), há um aumento no tempo de resposta, enquanto entre a Etapa 3 e a Etapa 4, há uma redução. Essa redução, contudo, vai no sentido oposto ao esperado e diverge do observado no experimento 1. Entretanto, isso pode ser justificado pelo efeito de aprendizado, já que a Etapa 4 nesse experimento apresentou um número médio de perguntas maior.

Já quanto à análise de dilatação de pupila corrigida por *baseline*, os dados indicaram diferença estatisticamente significativa (teste pareado de Wilcoxon, $p < 0,05$) entre todas as etapas do SAD do FITradeoff, com exceção entre a Etapa 2 e a Etapa 3 (ver Figura 26). A semelhança do experimento 1, observa-se aumento da dilatação da pupila com o avanço das etapas.

Figura 26 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média ± erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Foi aplicado o teste pareado de Wilcoxon para avaliar o comportamento da potência da banda teta entre as etapas para cada canal do EEG. Os resultados indicaram aumento estatisticamente significativo entre a maioria das etapas em todos os canais, indicando aumento do esforço com o avanço no processo de elicitação (ver Tabela 36).

Tabela 36 – Relação da potência da banda teta entre as etapas do SAD do FITradeoff no experimento 2.

Potência da banda teta			
Canal	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
AF3	Aumentou**	Aumentou***	
AF4	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou***
F3	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou***
F4		Aumentou*	Aumentou*
F7	Aumentou*	Aumentou***	Aumentou**
F8	Aumentou*	Aumentou***	Aumentou***
FC5	Aumentou**	Aumentou***	
FC6	Aumentou**	Aumentou***	
O1		Aumentou***	Aumentou***
O2	Aumentou**	Aumentou***	Aumentou**
P7		Aumentou***	Aumentou**
P8	Aumentou**	Aumentou*	
T7	Aumentou***	Aumentou***	Aumentou*
T8		Aumentou***	Aumentou*

*p<0,10

**p<0,05

***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

A última análise aqui foi feita para os dados de assimetria frontal alfa para os pares de canais F3/F4 e F7/F8 a fim de avaliar a variação do engajamento ao longo das etapas do SAD. O teste pareado de Wilcoxon foi aplicado e os resultados podem ser vistos na Tabela 37.

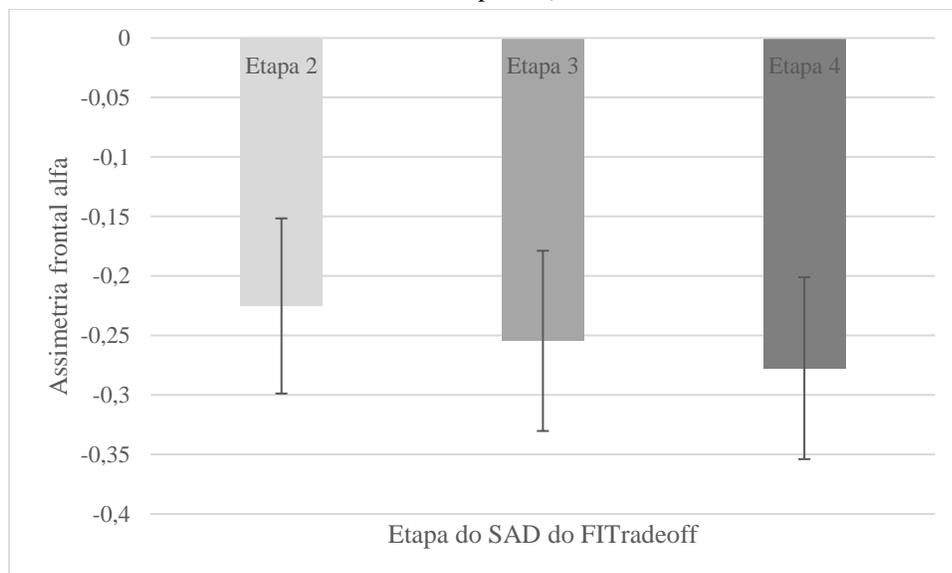
Tabela 37 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas de FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canais F8-F7 e F4-F3 no experimento 2.

Assimetria frontal alfa			
	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
Par de canal	p	p	p
F4/F3	0,04098	0,008889	0,3361
F8/F7	0,615	0,5782	0,3254

Fonte: O Autor (2021).

Conforme se observa, diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre a Etapa 2 e a Etapa 3, e entre a Etapa 2 e a Etapa 4 para o par F3/F4. Enquanto para o par F7/F8, os resultados se mostraram em torno de zero, para o par F3/F4 se constatou uma tendência de queda nos valores de assimetria frontal alfa, indicando aumento do engajamento negativo (ver Figura 27).

Figura 27 – Assimetria frontal alfa para o par F3/F4 em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

3.3.4 Análise de Consistência

A análise de inconsistência foi realizada aqui também. O teste e análise de inconsistências só foi possível devido à introdução de redundância de informação nos experimentos, estando, a este fator, a maioria das inconsistências associada. Deste modo, foi verificado, inicialmente, o tempo de resposta ao longo das etapas do processo de eliciação de preferências entre os grupos de problema com e sem inconsistência, contudo, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas como se observa nos resultados do teste de Wilcoxon apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas FITradeoff no Experimento 2.

Tempo de resposta	
	Consistente x Inconsistente
Etapa	p
Etapa 2	0,4677
Etapa 3	0,425
Etapa 4	0,5108

Fonte: O Autor (2021).

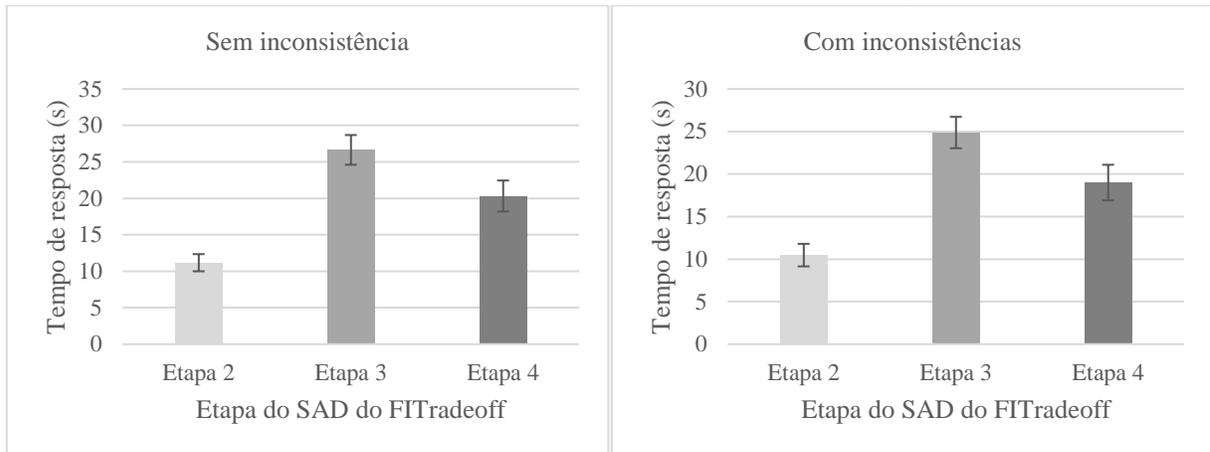
Ainda com relação ao tempo de resposta, comparou-se para cada grupo, a diferença entre etapas. Os resultados da Tabela 39 para o teste pareado de Wilcoxon indicam diferença entre todas as etapas para ambos os grupos. Por sua vez, a Figura 28 mostra um crescimento no tempo de resposta (Etapa 2 à Etapa 3) seguido de um decréscimo (Etapa 3 à Etapa 4) semelhante entre os grupos.

Tabela 39 – P-valor para a diferença no tempo de resposta entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 2.

Tempo de resposta		
	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	3,82E-06	0,01563
Etapa 2 x Etapa 4	0,001017	0,01563
Etapa 3 x Etapa 4	0,004221	0,04688

Fonte: O Autor (2021).

Figura 28 – Tempo de resposta em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 2 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Quanto à dilatação de pupila corrigida por *baseline*, também se avaliou a diferença entre os grupos sem e com inconsistências para cada etapa. Aqui, entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas a partir do teste de Wilcoxon (ver Tabela 40).

Tabela 40 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre problemas com ou sem inconsistências ao longo das etapas de FITradeoff no Experimento 2.

Dilatação da pupila corrigida por <i>baseline</i>	
	Consistente x Inconsistente
Etapa	p
Etapa 2	0,266
Etapa 3	0,3228
Etapa 4	0,4463

Fonte: O Autor (2021).

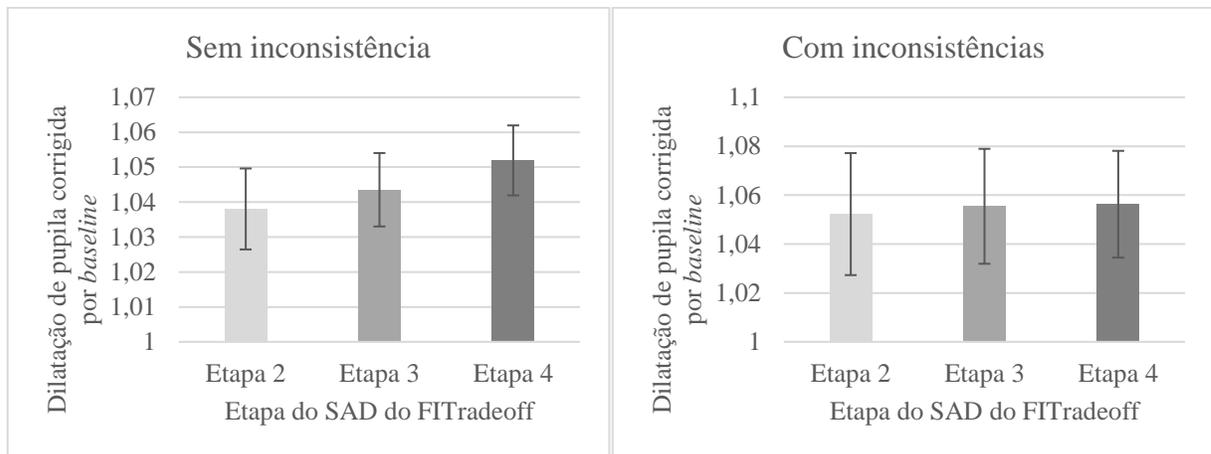
Por sua vez, a análise da dilatação de pupila entre etapas para cada grupo indicou diferenças apenas para o conjunto de problemas sem inconsistências observadas. O teste pareado de Wilcoxon mostrou crescimento na dilatação da pupila entre a Etapa 2 e a Etapa 4, e entre a Etapa 3 e a Etapa 4 ($p < 0,05$) (ver Tabela 41 e Figura 29).

Tabela 41 – P-valor para a diferença no tamanho da pupila entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 2.

Dilatação da pupila corrigida por <i>baseline</i>		
	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	0,1054	0,8125
Etapa 2 x Etapa 4	0,03623	0,4688
Etapa 3 x Etapa 4	0,02148	0,8125

Fonte: O Autor (2021).

Figura 29 – Dilatação da pupila corrigida por baseline em cada etapa do SAD do FITradeoff para problemas sem inconsistência e com inconsistências observadas no Experimento 2 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Acerca da potência da banda teta, também se avaliou a diferença entre os problemas com e sem inconsistências para cada uma das etapas do FITradeoff a partir do teste de Wilcoxon. Os resultados apresentados na Tabela 42 indicaram diferença estatisticamente significativa para alguns canais e para algumas etapas, com valores maiores para os problemas sem inconsistências observadas.

Tabela 42 – Diferença na potência teta entre problemas com ou sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2.

Potência da banda teta			
	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
AF3			
AF4			
F3	Consistente > Inconsistente**	Consistente > Inconsistente**	Consistente > Inconsistente**
F4			
F7			
F8			
FC5	Consistente > Inconsistente*		
FC6	Consistente > Inconsistente*		
O1			
O2	Consistente > Inconsistente*		Consistente > Inconsistente*
P7	Consistente > Inconsistente*		Consistente > Inconsistente*
P8			
T7			
T8			

*p<0,10

**p<0,05

***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

Foi analisado também a diferença no comportamento da potência teta entre etapas para cada conjunto de problemas. A partir do teste pareado de Wilcoxon, foram observados os resultados apresentados na Tabela 43.

Tanto para o grupo de problemas com ou sem inconsistências observadas, aumentos na potência da banda teta se verificam, sendo, entretanto, esses aumentos mais comuns entre as etapas finais para o grupo sem inconsistências, enquanto para o grupo com inconsistências, esses incrementos são mais comuns entre as primeiras etapas.

Tabela 43 – Diferença na potência teta entre etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências no Experimento 2.

Potência da banda teta						
	Inconsistente			Consistente		
	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4	Etapa 2 x Etapa 3	Etapa 2 x Etapa 4	Etapa 3 x Etapa 4
AF3	Aumentou**	Aumentou**			Aumentou***	Aumentou*
AF4	Aumentou*	Aumentou**			Aumentou***	Aumentou***
F3					Aumentou***	Aumentou***
F4		Aumentou**				
F7		Aumentou**			Aumentou**	
F8	Aumentou**	Aumentou*			Aumentou***	Aumentou***
FC5	Aumentou**	Aumentou**			Aumentou**	
FC6	Aumentou**	Aumentou**			Aumentou**	
O1	Aumentou**	Aumentou**			Aumentou**	Aumentou***
O2	Aumentou**	Aumentou**			Aumentou***	Aumentou**
P7	Aumentou*	Aumentou**			Aumentou**	Aumentou*
P8		Aumentou**				
T7	Aumentou**	Aumentou**		Aumentou*	Aumentou**	
T8		Aumentou**			Aumentou*	

*p<0,10

**p<0,05

***p<0,01

Fonte: O Autor (2021).

Mais uma vez, a análise de assimetria frontal alfa foi realizada considerando a diferença entre problemas com e sem inconsistências para cada etapa da elicitação de preferências. Para tanto, o teste de Wilcoxon foi feito e os resultados podem ser visualizados na Tabela 44.

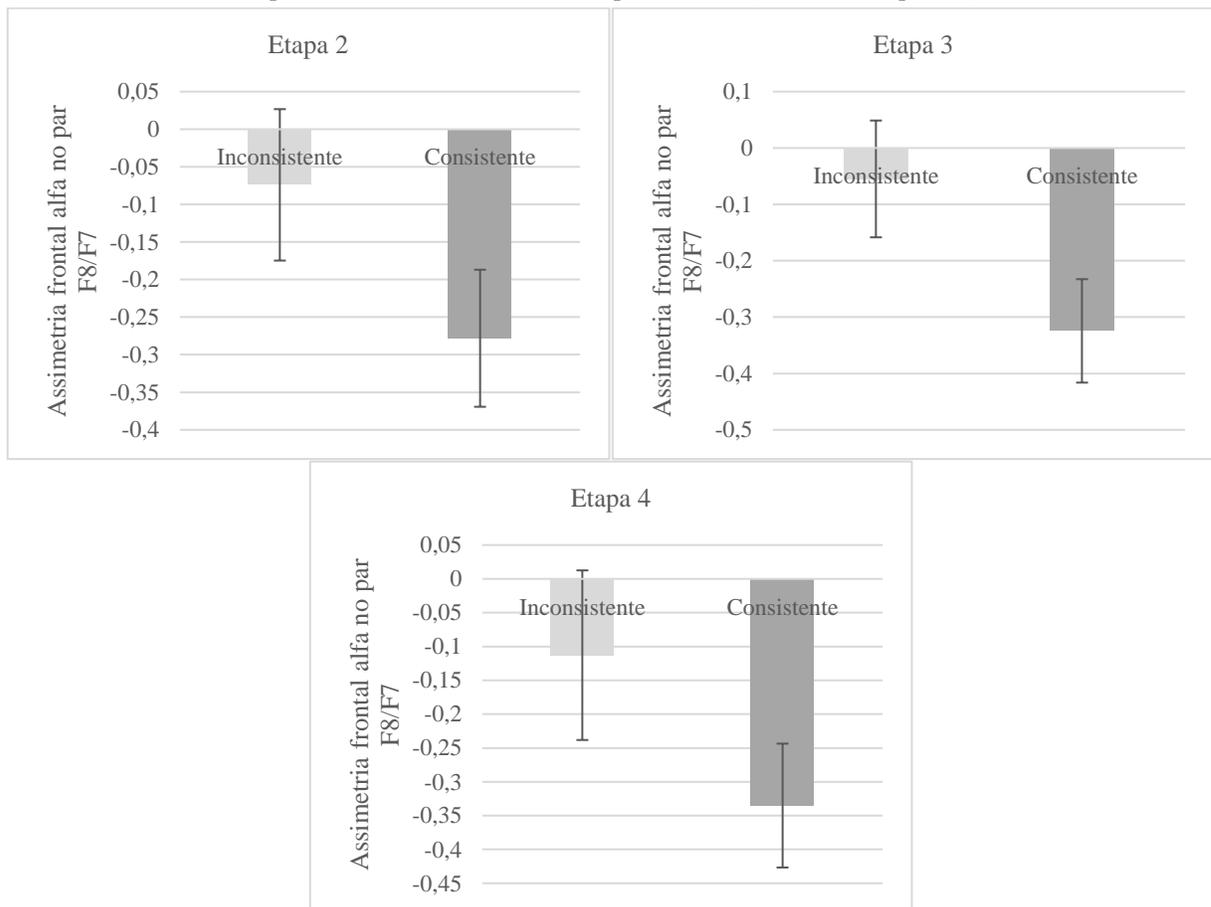
Tabela 44 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre problemas com ou sem inconsistências entre as etapas do SAD do FITradeoff para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 2.

Assimetria frontal alfa		
	F8/F7	F4/F3
	Consistente x Inconsistente	Consistente x Inconsistente
Etapa	p	p
Etapa 2	0,3075	0,04597
Etapa 3	0,1102	0,0314
Etapa 4	0,1222	0,04063

Fonte: O Autor (2021).

Para o par F4/F3 foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os problemas em todas as três etapas do SAD do FITradeoff. A Figura 30 mostra que para os problemas sem inconsistências observadas, o valor foi mais negativo em comparação ao do grupo de problemas com inconsistências, o que vai no sentido oposto ao esperado. Contudo, aqui, o engajamento negativo não influenciou nas informações de preferência fornecidas. Ressalta-se ainda que para o par F8/F7 no qual não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas, os valores de assimetria se mostraram próximos a zero ou positivos, principalmente para os problemas sem inconsistências observadas.

Figura 30 – Diferença da assimetria frontal alfa no par F8/F8 entre problemas com e sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

A assimetria frontal alfa foi avaliada para diferença entre etapas para cada grupo de problema também. Os resultados indicaram diferença apenas no par F4/F3 para o grupo de

problemas sem inconsistências observadas entre a Etapa 2 e a Etapa 3 e entre a Etapa 2 e a Etapa 4 (teste pareado de Wilcoxon, $p < 0,05$) conforme apresenta a Tabela 45.

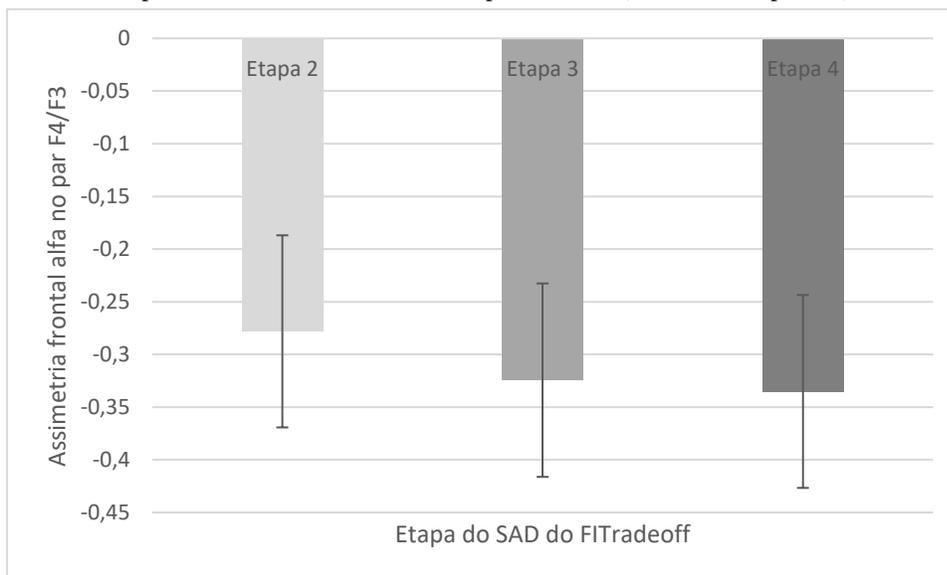
Tabela 45 – P-valor para a diferença de assimetria frontal alfa entre as etapas do SAD do FITradeoff para problemas com ou sem inconsistências para os pares de canal F8/F7 e F4/F3 no Experimento 2.

Assimetria frontal alfa				
	F8/F7		F4/F3	
	Consistente	Inconsistente	Consistente	Inconsistente
Etapa	p	p	p	p
Etapa 2 x Etapa 3	0,9661	0,375	0,005581	0,375
Etapa 2 x Etapa 4	0,2288	0,4688	0,02395	0,2969
Etapa 3 x Etapa 4	0,1964	0,6875	0,8695	0,1563

Fonte: O Autor (2021).

A análise gráfica, por sua vez, indicou uma queda nos valores de assimetria frontal alfa entre tais etapas (ver Figura 31), indicando crescimento do engajamento negativo na Etapas 3 e na Etapa 4. Nos demais casos, os valores se mantiveram em torno de zero.

Figura 31 – Diferença da assimetria frontal alfa no par F8/F8 entre problemas com e sem inconsistência em cada etapa do SAD do FITradeoff no Experimento 2 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

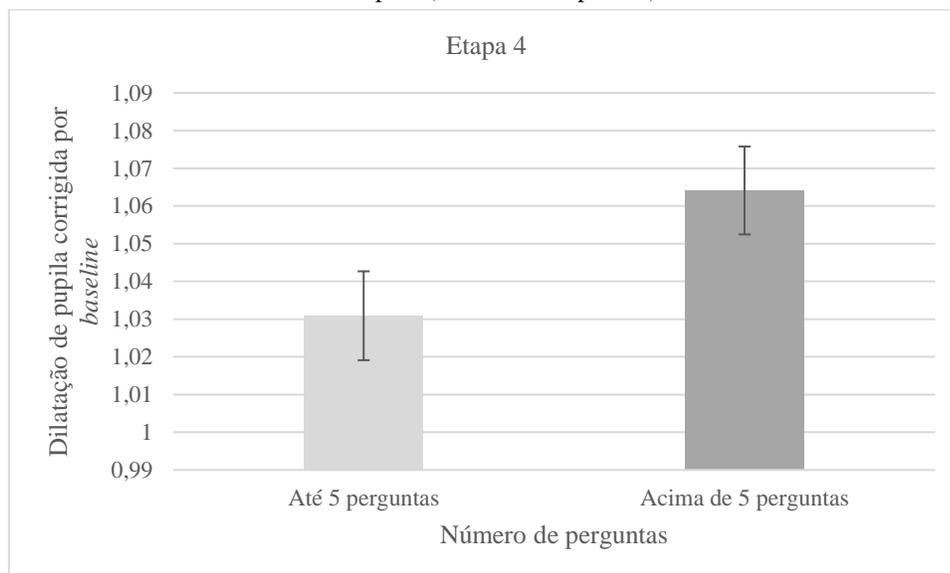
3.3.5 Influência do número de perguntas

Nessa seção, é avaliado o impacto do número de perguntas feitas na Etapa 4, a etapa da elicitação flexível, sobre as variáveis tempo de resposta, dilatação de pupila, potência da banda teta nos canais do EEG e assimetria frontal alfa. Como explicado anteriormente, dado o fato de todos os problemas resolvidos nesse experimento serem o mesmo, não se pôde avaliar o impacto de diferentes números de critérios ou tipo predominante de critério conforme feito para o Experimento 1.

Com relação ao tempo de resposta, o teste de Wilcoxon indicou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os problemas com até 5 perguntas na Etapa 4 ($24,97 \pm 11,06s$) e os problemas com mais de 5 perguntas ($17,48 \pm 5,92s$) (ver Tabela 25). Mais uma vez, o efeito aprendizagem fica evidente aqui, levando a se gastar menos tempo para as perguntas a medida em que se avança na Etapa 4. Isso contudo, pode indicar que menos atenção vem sendo dada a perguntas que, embora comparem o mesmo par de critérios, apresentam desempenhos diferentes e, portanto, representam consequências totalmente diferentes.

Quanto à dilatação de pupila corrigida por baseline, também foi verificada uma diferença estatisticamente significativa (teste de Wilcoxon, $p < 0,10$). Aqui, contudo, observou-se um crescimento na dilatação com o aumento do número de perguntas conforme Figura 32, indicando aumento do esforço cognitivo.

Figura 32 – Dilatação de pupila corrigida por baseline entre problemas com até 5 perguntas e acima de 5 perguntas na Etapa 5 (média \pm erro padrão).



Fonte: O Autor (2021).

Para os dados de potência da banda teta na Etapa 4, foi realizado o teste de Wilcoxon. Aqui, contudo, nenhum resultado significativo foi encontrado conforme se pode ver na Tabela 46.

Tabela 46 – P-valor para a potência da banda teta na Etapa 4 no Experimento 2.

Potência da banda teta na Etapa 4	
	p
AF3	0,1263
AF4	0,317
F3	0,4299
F4	0,2316
F7	0,4579
F8	0,1436
FC5	0,1373
FC6	0,2017
O1	0,106
O2	0,2017
P7	0,2017
P8	0,3907
T7	0,3715
T8	0,1454

Fonte: O Autor (2021).

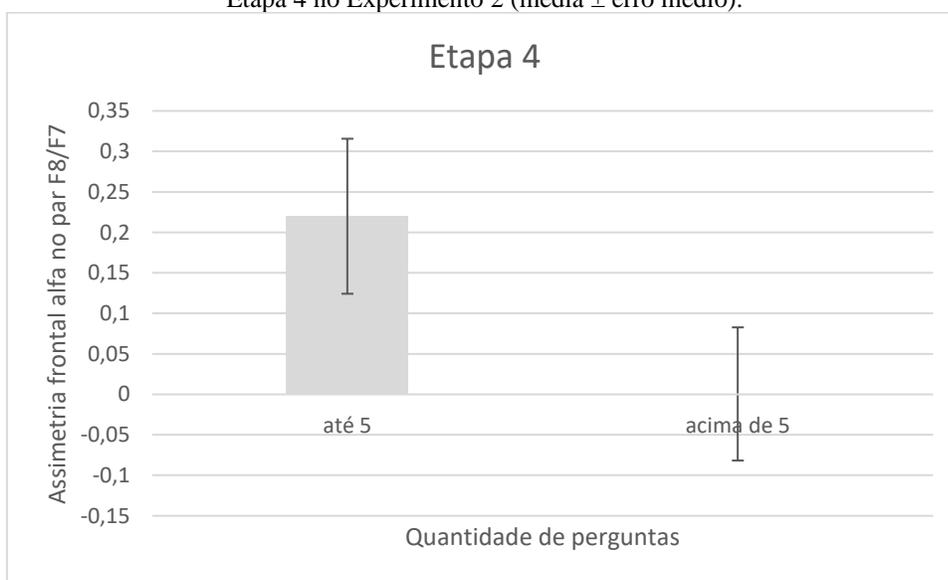
Por fim, foi feita a análise de assimetria frontal alfa na Etapa 4 e os resultados indicaram diferença estatisticamente significativa apenas para o par F8/F7 (ver Tabela 47). Os resultados indicaram engajamento positivo e superior para problemas com até 5 perguntas em comparação com o grupo de problemas com maior quantidade de perguntas na Etapa 4 (ver Figura 33).

Tabela 47 – ANOVA para tipo de critério, número de critérios e sua combinação com a potência da banda teta na Etapa 2 no Experimento 1.

Assimetria frontal alfa na Etapa 4	
	p
F8/F7	0,04212
F4/F3	0,3339

Fonte: O Autor (2021).

Figura 33 – Assimetria frontal alfa no par F8/F7 entre problemas com até 5 perguntas e acima de 5 perguntas na Etapa 4 no Experimento 2 (média \pm erro médio).



Fonte: O Autor (2021)

Nos demais casos, os valores ficaram em torno de zero.

A seção a seguir mostra um resumo dos resultados obtidos com o experimento 2. É feita ainda uma comparação entre os dois experimentos desse estudo discutindo aspectos relevantes.

3.3.6 Considerações Finais

Com o Experimento 2, buscou-se verificar o efeito do grau de conhecimento em métodos multicritério sobre a consistência e aspectos cognitivos relacionados ao processo de eliciação de preferências. O uso de um problema padrão permitiu ainda verificar com a perda, ainda que pequena, de motivação impacta em tais variáveis. Em consonância ao observado no Experimento 1, poucas perguntas e tempo foram necessários para que uma recomendação de decisão fosse alcançada. Também se constatou que o aumento da complexidade das etapas gera aumento do esforço cognitivo dos decisores nesse grupo.

Mais uma vez, a importância do número de perguntas na Etapa 4 sobre o esforço cognitivo foi identificado aqui. Entretanto, como um mesmo problema foi aplicado para todos os participantes, variáveis tais como número e tipo predominante de critério não diferiram, não sendo possível incluí-las nas análises.

Por fim, os dados de engajamento se mostraram em muitos casos negativos, porém sem aumentar as chances de inconsistência. O baixo engajamento pode ser reflexo do baixo conhecimento em métodos multicritério dos participantes bem como do tipo de problema trabalhado. Apesar disso, não foi algo crítico já que não houve prejuízo para a consistência nas respostas fornecidas. A seção 3.4 a seguir discute melhor os resultados obtidos no Experimento 2, fazendo comparação com aqueles do Experimento 1.

3.4 Comparação dos Resultados dos Experimentos

O primeiro aspecto comparado e discutido entre os experimentos diz respeito ao comportamento do processo decisório com o SAD do FITradeoff. Dada a sua estrutura e dinâmica em que as informações de preferência são solicitadas a fim de gerar uma recomendação de decisão, tem-se que a complexidade demandada do decisor aumenta com o avanço nas etapas. Isso ocorre porque, enquanto na Etapa 2, cabe ao decisor definir uma ordem das constantes de escala, levando em consideração o grau de importância dos critérios dentro do espaço de consequências em que o problema se situa, na Etapa 3 e na Etapa 4, o decisor lida com consequências hipotéticas definindo relações de preferência. Vale ressaltar que na Etapa 4, as informações fornecidas definem o espaço das constantes de escala sobre o qual é feito o teste das

alternativas de decisão em busca de uma solução ótima. Diante disso, é esperado que o esforço dispendido pelo decisor acompanhe esse incremento na complexidade. Todas as medidas neurofisiológicas relacionadas a esforço cognitivo utilizadas nesse estudo apontaram nesse sentido: tempo de resposta, dilatação da pupila corrigida por baseline e potência da banda teta (ver Tabela 48). Assim, independentemente do perfil do decisor, tenha ele mais conhecimento em métodos multicritério ou não, há um incremento no esforço em consonância com a complexidade exigida por cada etapa.

Tabela 48 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito ao processo de elicitación de preferências.

Processo		
	Experimento 1	Experimento 2
Tempo de resposta	Etapa 3 > Etapa 2 Etapa 4 > Etapa 2	Etapa 3 > Etapa 4 > Etapa 2
Dilatação de pupila corrigida por baseline	Etapa 4 > Etapa 3 > Etapa 2	Etapa 4 > Etapa 3 > Etapa 2
Potência da banda teta	Etapa 3 > Etapa 2 (AF3, F3, F4, F7, F8, FC6, O2, P7)	Etapa 3 > Etapa 2 (AF3, AF4, F3, F7, F8, FC5, FC6, O2, P8)
	Etapa 4 > Etapa 2 (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC6, O1, O2, P7, P8, T7, T8)	Etapa 4 > Etapa 2 (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, O1, O2, P7, P8)
	Etapa 4 > Etapa 3 (AF3, AF4, F3, O1, T7, T8)	Etapa 4 > Etapa 3 (AF4, F3, F4, F7, F8, O1, O2, P7)
Assimetria frontal alfa	F4/F3: Assimetria constante e em torno de zero	F4/F3: Assimetria negativa e decrescente (Etapa 2 > Etapa 3; Etapa 2 > Etapa 4)
	F8/F7: Assimetria constante e em torno de zero	F8/F7: Assimetria constante e em torno de zero

Fonte: O Autor (2021).

Ainda sobre o esforço cognitivo, vale ressaltar que, embora desejável em altos níveis, garantindo concentração e compreensão na tarefa que está sendo feita, tais esforço não pode ser de tal modo a gerar estresse no decisor. Para tanto, o engajamento vem como outro aspecto desejável. Em outras palavras, o decisor precisa estar concentrado e engajado durante o processo

de elicitação de modo que as informações fornecidas sejam consistentes e traduzam suas reais preferências.

Na análise realizada, a assimetria alfa foi utilizada como medida de engajamento e os resultados indicaram nenhuma variação para o experimento 1, enquanto para o experimento 2, valores negativos e decrescentes acompanharam o processo. Essa distinção pode ser explicada pelo fato do problema de decisão considerado no experimento 2 ser um problema padrão de escolha de smartphone, ao contrário do experimento 1 que usou problemas reais e de interesse dos participantes, desenvolvidos por cada um deles. Além disso, na amostra do experimento 2, os participantes possuíam menor conhecimento em métodos multicritério o que pode ter gerado maior dificuldade e menor envolvimento em interagir com o SAD.

Outro aspecto analisado diz respeito a consistência durante o processo elicitatório. Sabe-se que o processo de fornecimento de informações de preferência nem sempre é simples e pode gerar contradições por parte dos decisores. Não se trata propriamente de erro, mas mudanças nos sentidos de preferência geradas por má compreensão. Em abordagens como a do procedimento *tradeoff* em que múltiplas perguntas são feitas, isso se torna ainda mais comum. É, portanto, um desafio a ser superado. No FITradeoff, esse problema é minimizado já que informações completas não são necessárias para que uma recomendação de decisão seja gerada.

Ainda se tratando da ocorrência ou não de inconsistências, verificou-se como os aspectos neurofisiológicos diferiam entre os problemas (ver Tabela 49), sendo isso viabilizado pela introdução de redundância de informação nos experimentos realizados. De maneira geral, o tempo de resposta foi maior nas duas últimas etapas analisadas (Etapa 3 e Etapa 4), sendo que no experimento 1, verificou-se que problemas sem inconsistência apresentaram maior tempo de resposta na Etapa 4 em comparação aos problemas com inconsistências observadas nessa mesma etapa. Já quanto à dilatação de pupila corrigida por baseline, não foi possível identificar distinção entre os problemas em cada uma das três etapas, embora, para os problemas sem inconsistências, essa dilatação aumenta com o avanço das etapas, sendo isso verdade para o grupo de problemas com inconsistência apenas entre a Etapa 2 e a Etapa 4, conforme constatado no experimento 1. Tal comportamento pode ter favorecido os problemas sem inconsistências, já que o esforço foi sendo incrementado progressivamente conforme as etapas exigiam.

Os dados de potência da banda teta também mostraram a superioridade dos problemas sem inconsistências sobre aqueles com inconsistências. Os resultados indicaram maior esforço

cognitivo demandado para o primeiro grupo em todas as etapas para a maioria dos canais nos dois experimentos realizados o que é algo desejável para evitar a ocorrência de tais contradições no processo de elicitação por parte do decisor. Ainda com os dados de potência teta, constatou-se incremento na potência com o avanço das etapas em ambos os tipos de problema, sendo isso mais evidente para o grupo sem inconsistências. Esse último resultado vai em linha com o observado com os dados de dilatação de pupila corrigida por *baseline*.

Já quanto ao engajamento, os resultados do experimento 1 não mostraram nada sugestivo, uma vez que a assimetria se manteve constante e próxima a zero. Por sua vez, a partir dos resultados do experimento 2, observou-se engajamento negativo em ambos os grupos e em todas as etapas para o par F4/F3, sendo esses valores menores (mais negativos) para o grupo sem inconsistência. Além disso, para esse mesmo grupo, observou-se queda nos valores com o avanço das etapas. Tal constatação vai, contudo, na contramão do esperado, demonstrando que para essa amostra, o aumento do esforço cognitivo não gerou estresse a ponto de gerar respostas inconsistentes.

Tabela 49 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito à consistência no processo.

Consistência		
	Experimento 1	Experimento 2
Tempo de resposta	Sem inconsistência > Com inconsistência: Etapa 4 Etapa 3 > Etapa 2: Sem inconsistência e com inconsistência Etapa 4 > Etapa 2: Sem inconsistência e com inconsistência	Etapa 3 > Etapa 2: Sem inconsistência e com inconsistência Etapa 4 > Etapa 2: Sem inconsistência e com inconsistência Etapa 3 > Etapa 4: Sem inconsistência e com inconsistência
Dilatação de pupila corrigida por <i>baseline</i>	Etapa 3 > Etapa 2: Sem inconsistência Etapa 4 > Etapa 2: Sem inconsistência e com inconsistência Etapa 4 > Etapa 3: Sem inconsistência	Etapa 4 > Etapa 2: Sem inconsistência Etapa 4 > Etapa 3: Sem inconsistência
Potência da banda teta	Sem inconsistência > Com inconsistência: Etapa 2 (AF4, FC6, T7, T8) Etapa 3(FC6, T8) Etapa 4(F4, FC6, O1)	Sem inconsistência > Com inconsistência: Etapa 2 (F3, FC5, FC6, O2, P7) Etapa 3(F3) Etapa 4(F3, O2, P7) Etapa 3 > Etapa 2:

	<p>Etapa 3 > Etapa 2: Sem inconsistência (AF3, F3, F4, F7, F8, O2, P7) Com inconsistência (AF4, F7, F8, P8, T7)</p> <p>Etapa 4 > Etapa 2 Sem inconsistência (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC6, O1, O2, P7, T7, T8) Com inconsistência (AF3, AF4, F7, P7, P8, T7)</p> <p>Etapa 4 > Etapa 3: Sem inconsistência (AF3, AF4, O1, T7) Com inconsistência (AF3, AF4, P8)</p>	<p>Sem inconsistência (T7) Com inconsistência (AF3, AF4, F8, FC5, FC6, O1, O2, P7, T7)</p> <p>Etapa 4 > Etapa 2 Sem inconsistência (AF3, AF4, F3, F7, F8, FC5, FC6, O1, O2, P7, T7, T8);</p> <p>Etapa 4 > Etapa 3: Sem inconsistência (AF3, AF4, F3, F8, O1, O2, P7) Com inconsistência (AF3, AF4, F4, F7, F8, FC5, FC6, O1, O2, P7, P8, T7, T8)</p>
Assimetria frontal alfa	<p>F4/F3: assimetria constante e em torno de zero e sem diferir entre problemas</p> <p>F8/F7: assimetria constante e em torno de zero e sem diferir entre problemas;</p>	<p>F4/F3: Assimetria negativa - Com inconsistência > Sem inconsistência (Etapa 2, Etapa 3 e Etapa 4)</p> <p>Etapa 2 > Etapa 3 (assimetria negativa): Sem inconsistência</p> <p>Etapa 2 > Etapa 4 (assimetria negativa): Sem inconsistência</p> <p>F8/F7: assimetria constante e em torno de zero e sem diferir entre problemas;</p>

Fonte: O Autor (2021).

Por fim, avaliou-se o impacto do número de critérios, tipo predominante e número de perguntas sobre o esforço cognitivo e engajamento (ver Tabela 50). Como já discutido anteriormente, o número de perguntas nas etapas iniciais depende apenas do número de critérios e, portanto, não foi inserida como um fator adicional para os testes estatísticos feitos no experimento 1. Por sua vez, no experimento 2, apenas o número de perguntas feitas na Etapa 4 diferia entre os problemas, de modo que não foram feitas análises na Etapa 2 e na Etapa 3. Já quanto ao número de alternativas de decisão, estas não aparecem durante o processo de elicitação, atuando de maneira indireta, portanto, não foram consideradas nessa última análise.

A análise do tempo de resposta indicou efeito apenas do número de perguntas na Etapa 4, de modo que problemas com mais perguntas (acima de 5) geram tempos de respostas médios

menores. Como já mencionado anteriormente, isso faz sentido quando se pensa o efeito de aprendizagem. Ou seja, quanto mais perguntas vão sendo respondidas, mais se ganha experiência e torna as respostas mais rápidas. Isso, contudo, pode representar um perigo já que, mesmo os critérios sendo repetidos nas comparações de consequências hipotéticas do FITradeoff, os desempenhos são variáveis. É, portanto, necessário atenção e esforço constantes a fim de evitar respostas automáticas.

Acerca da dilatação de pupila, o experimento 1 mostrou a influência do tipo predominante de critério, mais especificamente na Etapa 2 e na Etapa 4, de modo que problemas classificados como combinadas demandaram maior esforço dos decisores em comparação aqueles problemas classificados como qualitativos. Sendo, nos problemas classificados como combinados, mais comparações feitas entre critérios de naturezas distintas, é esperado que mais esforço seja demandado. Esse mesmo resultado foi confirmado pela análise da banda teta, onde problemas do tipo qualitativos apresentaram menores valores em comparação aos problemas do tipo combinado no canal P7. Além disso, na Etapa 4, a combinação do tipo de critério predominante com o número de questões nesta etapa também influenciou na dilatação da pupila, sendo observados valores menores para problemas classificados como qualitativos e com até 5 questões em relação aos demais. Além disso, a análise da banda teta indicou na Etapa 2, na Etapa 3 e na Etapa 4 a influência do número de critérios no valor da potência teta no canal T7. Ao contrário do que se esperava, o aumento do número de critérios não gerou aumento da potência, mas diminuição, indicando que o decisor reduziu o esforço cognitivo. Tal resultado pode ser explicado pelo fato dos decisores terem adotado uma estratégia de minimização do esforço dispendido, a fim de conservar recursos cognitivos em situações de alta demanda, conforme relatado na literatura.

Além disso, o poder da banda teta foi influenciado pela combinação do número de critérios com o número de questões na Etapa 4 no canal O2, de modo que problemas com até 5 questões na Etapa 4 e com até 5 critérios apresentaram teta mais alto poder em comparação com problemas com até 5 perguntas na Etapa 4 e com mais de 5 critérios ou problemas com mais de 5 questões na Etapa 4 e com até 5 critérios. Por fim, a combinação do tipo de critério predominante, o número de questões na Etapa 4 e o número de critérios também influenciaram o poder da banda teta. Foi observado em problemas classificados como combinados e com mais de 5 critérios que o aumento do número de questões na Etapa 4 gera uma redução na potência teta no canal AF4. Quanto ao grupo de problemas com até 5 questões na Etapa 4 e com mais de 5

critérios, os problemas classificados como combinados apresentaram maior poder da banda teta no canal AF4 em comparação aos problemas classificados como qualitativos. Para o grupo de problemas com até 5 questões na Etapa 4, os problemas classificados como combinados foram os únicos que apresentaram aumento no poder teta com o aumento do número de critérios.

Todos esses resultados sugerem que o aumento do número de questões na Etapa 4 e do número de critérios não necessariamente gera aumento do esforço cognitivo do decisor, estando essas variáveis relacionadas de forma não linear. Assim, estratégias de minimização de esforço acabam sendo utilizadas. Além disso, na Etapa 4, o aumento no número de questões indica que o mesmo par de critérios pode ser repetido mais de uma vez nas comparações de alternativas hipotéticas. Nesses casos, o efeito de aprendizagem pode ocorrer, reduzindo assim o esforço necessário para responder às perguntas usando pares de critérios repetidos.

Já quanto ao experimento 2, os resultados vão na mesma linha e se somam, pois, embora não se tenha identificado diferenças na potência da banda teta em função do número de perguntas feitas na Etapa 4, a dilatação da pupila corrigida por *baseline* aqui mostrou valores maiores para os problemas com mais perguntas (acima de 5). Esses resultados se somam aos relativos a esforço cognitivo do experimento 1 no que diz respeito a uso de estratégias de minimização de esforço visto que todos os problemas da segunda amostra tinham 5 critérios. Portanto, o incremento no número de perguntas na elicitacão flexível não comprometeu o aumento do esforço cognitivo.

Tabela 50 – Resumo e comparação dos resultados dos experimentos no que diz respeito ao número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério.

Número de perguntas, número de critérios e tipo predominante de critério				
		Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
	Tempo de resposta			Influência do número de perguntas na Etapa 4 (Até 5 perguntas > Acima de 5 perguntas)

	<p>Dilatação de pupila corrigida por baseline</p>	<p>Influência do tipo de critério predominante (Combinado > Qualitativo)</p>		<p>Influência do tipo de critério predominante (Combinado> Qualitativo)</p> <p>Influência do tipo de critério predominante e do número de questões na Etapa 4 (Qualitativo + Até 5 questões na Etapa 4 <Qualitativo + Acima de 5 questões na Etapa 4 / Qualitativo + Até 5 questões na Etapa 4 <Combinado + Até 5 perguntas na Etapa 4)</p>
<p>Exp. 1</p>	<p>Potência da banda teta</p>	<p>P7: Influência do tipo de critério predominante (Combinado > Qualitativo)</p> <p>T7: Influência do número de critérios (até 5 critérios > Acima de 5 critérios)</p>	<p>T7: Influência do número de critérios (até 5 critérios > Acima de 5 critérios)</p>	<p>T7: Influência do número de critérios (até 5 critérios> Acima de 5 critérios)</p> <p>O2: Influência do número de perguntas na etapa 4 e do número de critérios (até 5 perguntas na etapa 4 + até 5 critérios> até 5 perguntas na etapa 4 + acima de 5 critérios / até 5 perguntas na etapa 4 + até 5 critérios> Acima de 5 perguntas na Etapa 4 + Até 5 critérios)</p> <p>AF4: Influência do tipo de critério predominante, do número de questões na Etapa 4 e do número de critérios (Combinado + Até 5 questões na Etapa 4 + Acima de 5 critérios> Combinado + Acima de 5 questões na Etapa 4 + Acima de 5 critérios / Combinado + Até 5 perguntas na Etapa 4 + Acima de 5 critérios> Qualitativa + Até 5 perguntas na Etapa 4+ Acima de 5 critérios / Combinado + Até 5 perguntas na Etapa 4 + Até 5 critérios <Combinado + Até 5 questões na Etapa 4 + Acima de 5 critérios)</p>

	Assimetria frontal alfa	<p>F4/F3: Influência do tipo de critério predominante (Combinado – assimetria negativa < Qualitativo – assimetria positiva) Quantitativo – assimetria positiva</p> <p>Demais casos, assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p> <p>F8/F7: assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p>	<p>F4/F3: Influência do tipo de critério predominante (Combinado – assimetria negativa < Quantitativo – assimetria positiva) Qualitativo – assimetria positiva</p> <p>Demais casos, assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p> <p>F8/F7: assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p>	<p>F4/F3: Influência do tipo de critério predominante (Combinado – assimetria negativa < Qualitativo – assimetria positiva) Quantitativo – assimetria positiva</p> <p>Demais casos, assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p> <p>F8/F7: Influência do número de perguntas na etapa 4 e o número de critérios (até 5 perguntas na etapa 4 + até 5 critérios <até 5 perguntas na etapa 4 + acima de 5 critérios) Demais casos, assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p>
Exp. 2	Tempo de resposta			Influência do número de perguntas na Etapa 4 (Até 5 perguntas > Acima de 5 perguntas)
	Dilatação de pupila corrigida por baseline			Influência do número de perguntas na Etapa 4 (Acima de 5 perguntas > Até 5 perguntas)
	Potência da banda teta			
	Assimetria frontal alfa			<p>F4/F3: assimetria em torno de zero e sem diferir entre problemas</p> <p>F8/F7: Assimetria positiva - Influência do número de perguntas na Etapa 4 (Até 5 perguntas > Acima de 5 perguntas)</p>

Acerca da análise de engajamento, os resultados mostraram a influência do tipo de critério predominante na assimetria frontal alfa para o par de canal F4/F3 nas três etapas do FITradeoff no experimento 1, com engajamento positivo identificado para problemas classificados como qualitativo e quantitativo e engajamento negativo para problemas classificados como combinado. Esses resultados somam-se aos observados com dados de tamanho de pupila e potência teta, indicando maior envolvimento do decisor em problemas para os quais foi observado menor esforço. Também foi possível verificar o efeito conjunto do número de critérios com o número de questões da Etapa 4 na assimetria para o par de canal F8/F7. Houve um aumento do engajamento com o aumento do número de critérios e, portanto, um aumento da dificuldade, apenas na situação em que o decisor foi apresentado a poucas questões (até 5). Para os demais fatores e combinações, entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas e os valores ficaram em torno de zero. Já no experimento 2, foi constatado aumento do engajamento para problemas com menos perguntas feitas (até 5) para o par F8/F7. Apesar disso, em ambos os casos, os valores foram positivos.

3.5 Considerações Finais

A partir de dois experimentos que contaram com decisores de perfis distintos e fazendo uso de ferramentas de neurociência foi possível obter *insights* valiosos acerca de aspectos presentes no processo de tomada de decisão multicritério. Vale ressaltar que, embora, tenham o seu valor e agreguem para o estudo comportamental na área de decisão, os dados de origem neurofisiológicas não foram os únicos a serem considerados para avaliação do processo de elicitación de preferências no contexto compensatório e da ocorrência de inconsistências, oriundas em sua maioria da etapa de Exploração do Espaço de Consequências. Assim, integrando fontes de dados, foi possível estabelecer relações diretas e indiretas entre variáveis de interesse, o que permite direcionar ações e pesquisas não só para o FITradeoff como para a área de decisão e sistemas de informação.

Deste modo, o próximo capítulo traz algumas considerações e recomendações acerca do processo de elicitación com foco no SAD do FITradeoff. Aplicações destas considerações e recomendações também são feitas, trazendo maior clareza. O capítulo a seguir, portanto, visa

fortalecer a contribuição deste trabalho, tomando como base os resultados apresentados e discutidos aqui.

4 INSIGHTS PARA MELHORIA DO PROCESSO DE ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O FITRADEOFF E APLICAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são levantadas recomendações de melhoria para o processo de elicitação de preferências por meio do uso de sistema de apoio a decisão a partir dos resultados discutidos no capítulo 3. O foco é a interação decisor, analista e SAD com a abordagem do método FITradeoff. Apesar disso, algumas considerações são aplicáveis em contexto de outros métodos compensatórios e SADs.

Desta forma, o capítulo se encontra dividido em três partes. A primeira trata de *insights* para a interação entre o analista de decisão e o decisor. A segunda, por sua vez, consiste em recomendações de funções e ferramentas para o SAD. A última parte apresenta a aplicação dos *insights* e recomendações em um problema de decisão a fim de tornar mais clara a contribuição à qual esse trabalho se propõe.

4.1 Insights para a Interação entre Analista e Decisor e melhorias no SAD

Os resultados dos dois experimentos são bastante sugestivos sobre o papel de variáveis importantes no processo decisório sobre o desempenho do decisor e a geração de inconsistência, estas geradas, principalmente pela Etapa 3 (Exploração do Espaço de Consequências) para esse estudo. Assim, com base nesses resultados, é possível estabelecer as seguintes considerações: (1) o tipo de critério predominante influencia o esforço cognitivo e o engajamento. Foi observado a partir do experimento 1 que problemas com critérios predominantemente da mesma natureza (qualitativo ou quantitativo) geram maior engajamento e menos esforço cognitivo. É, portanto, um fator sobre o qual o analista de decisão deve considerar em casos de múltiplos critérios de naturezas distintas, se atentando a fornecer um suporte ainda mais presente a fim de gerar uma experiência melhor para o decisor. O analista pode intervir ainda solicitando que o decisor pense melhor nos critérios dos problemas, buscando inserir, sempre que possível, critérios de mesma natureza. Outro ponto a ser considerado é a própria dinâmica pela qual as perguntas são feitas no SAD do FITradeoff durante a comparação de consequências hipotéticas. Nos casos de critérios com naturezas distintas, eles devem ser sempre que possível evitados, dando prioridade para comparações que envolvam critérios de mesma natureza. Assim, um algoritmo pode ser

implementado de tal modo a identificar as comparações que levem a solução ótima mais rapidamente, evitando os critérios com diferentes naturezas (qualitativo x quantitativo; ou quantitativo x qualitativo). Vale ressaltar que, atualmente, as comparações são feitas priorizando critérios adjacentes por serem cognitivamente mais fácil. Portanto, a busca por critérios de mesma natureza na priorização do SAD deve considerar isso, sem que critérios muito distantes sejam admitidos para comparação.

Outra consideração diz respeito ao fato de que (2) a combinação entre o número de perguntas na Etapa 4 e o número de critérios nos problemas influenciam o esforço cognitivo que os decisores fazem, mas de forma inversa ao que foi esperado. Isso pode ser justificado pelo fato dos decisores terem adotado uma estratégia para minimizar o esforço que precisam fazer para resolver o problema quando muitos critérios e questões estão presentes. Esse resultado é reforçado pelo fato de que na Etapa 4, apenas nos casos em que poucas perguntas foram feitas (até 5 perguntas), o engajamento dos decisores aumentou com o aumento do número de critérios (acima de 5 critérios). Esse fato foi confirmado no experimento 2 com o incremento do esforço cognitivo para problemas com mais perguntas, dado que todos eles tinham até 5 critérios. Tais resultados reforçam a necessidade de maior apoio do analista de decisão nos casos que envolvem muitos critérios e alternativas de decisão e, conseqüentemente, muitas dúvidas na Etapa 4. Aqui, sugere-se ainda que 5 é um limiar para o número de perguntas e critérios e esses fatores são críticos, principalmente quando de maneira combinada (mais do que 5 critérios e mais do que 5 perguntas na Etapa 4). O analista pode, portanto, intervir sempre que o número de perguntas se aproxime ou ultrapasse o limiar, bem como fornecer suporte antecipado por meio de orientações e explicações ao decisor quando observado a existência de muitos critérios. Esses por sua vez, devem ser sempre avaliados a fim de reduzir o número sempre que possível, evitando, inclusive, redundâncias. Vale destacar que tal medida nem sempre é viável ou simples, pois, de modo geral, a escolha da família de critérios deve garantir a capacidade de avaliação por parte do decisor, sendo exaustiva e não redundante. Além disso, dado o fato de que muitas perguntas na Etapa 4 indicam que mesmos pares de critérios estão sendo comparados múltiplas vezes, e isso pode estar gerando respostas mais rápida e com menor esforço cognitivo, implicando em inconsistências, sugere-se que o SAD do FITradeoff possa incorporar novos recursos a fim de fornecer informações que garantam que o decisor não reduza sua atenção e esforço cognitivo mesmo quando pares de critérios são comparados várias vezes. Esses recursos podem vir na forma de

alertas indicando o sempre que número de perguntas se tornar grande na Etapa 4, ou quando a combinação da quantidade de critérios com o número de perguntas fornecer esse risco. Tais funcionalidades devem, portanto, evitar um efeito prejudicial do fator de aprendizagem pelo qual os decisores assumem ter a resposta para uma pergunta, quando na realidade não compreenderam a comparação feita por meio das consequências hipotéticas do SAD.

Já no que diz respeito ao processo de elicitación de preferências, os resultados indicam que (3) em consonância ao esperado, à medida que se avança nas etapas, aumenta-se a complexidade exigida e o esforço demandado de maneira geral. Além disso, os resultados sugerem que o não acompanhamento desse esforço é um fator que aumenta as chances de inconsistências nos problemas. Portanto, o analista deve se atentar a esse aspecto que pode ser considerado crítico. Ele deve atuar fornecendo suporte cada vez mais aprimorado sempre que se caminha para a Etapa 4. Cabe a ele, deixar claro de antemão o papel de cada etapa e das informações providas a fim de minimizar os riscos de desengajamento e desatenção em especial, nas últimas etapas. O SAD por sua vez, pode criar ferramentas em cada etapa, deixando claro o papel e significado de cada uma.

Por fim, no que diz respeito ao conhecimento dos decisores acerca de métodos multicritério, chega-se a última consideração (4) que trata do fato de que, no primeiro experimento, a taxa de inconsistências foi menor do que no segundo, o que pode ser explicado pelo engajamento decorrente do tipo de problema com o qual os participantes lidaram, isto é, problemas desenvolvidos por eles próprios, e pelo fato de serem mais experientes quanto ao uso de SADs e construção de modelos de decisão. O conhecimento e interesse são fatores críticos e que devem nortear as abordagens do analista de decisão. Para aqueles decisores que possuem menor conhecimento sobre o método e o problema em questão, mais tempo deve ser dedicado quando possível para fornecer informações que visem aumentar o engajamento e o esforço dispendido. O próprio SAD pode fornecer uma opção de informações sobre o problema e o método, além dos já disponíveis, como os critérios presentes e matriz de consequências.

Portanto, este trabalho contribui para o campo de sistemas de informação e de decisão multicritério em termos teóricos, ao identificar influências e relações entre variáveis relevantes nos problemas de decisão no contexto compensatório que levaram à geração de inconsistências observadas na interação entre o decisor, analista de decisão e SADs. Em termos práticos, a contribuição que este artigo traz é orientar ações de melhoria nos SADs relacionados e na interação entre o decisor e o analista.

4.2 Aplicação dos Resultados e Recomendações

A partir das recomendações feitas e discutidas anteriormente, esta seção traz a aplicação em um problema envolvendo o FITradeoff. Trata-se de um problema considerado na amostra do experimento 1. Todas as respostas dadas e informações referentes ao problema foram mantidas, sendo recomendações e sugestões de intervenções apresentadas quando necessário. Mais detalhes, contudo, são apresentados a seguir.

4.2.1 Descrição do Problema

O problema escolhido para demonstrar a aplicação dos resultados desse trabalho consistiu em um problema de escolha de um imóvel. O mesmo é composto por quatro alternativas de decisão, a saber: Apartamento 1, Apartamento 2, Casa 3 e Apartamento 4. Quanto aos critérios, oito foram escolhidos, sendo todos de natureza qualitativa: Segurança, Lazer, Espaço, Preço, Localização, Característica Interna, Vizinhança e Revenda. A Tabela 51 mostra a matriz de consequências do problema.

Tabela 51 – Matriz de consequências do problema.

	Matriz de consequências							
	Segurança	Lazer	Espaço	Preço	Localização	Característica Interna	Vizinhança	Revenda
Apartamento 1	5	5	5	2	3	5	5	5
Apartamento 2	3	2	3	4	5	2	2	2
Casa 3	1	5	5	3	1	5	5	1
Apartamento 4	4	4	2	4	5	5	3	5

Fonte: O Autor (2021).

4.2.2 Aplicação das Recomendações

Conforme mencionado anteriormente, o problema faz parte da amostra do experimento 1 que contou com decisores com bom conhecimento nos métodos multicritério. Além disso, o problema tratado foi desenvolvido pelo próprio decisor. Assim, não há a exigência de que mais informações fossem fornecidas ao decisor seja pelo analista, seja pelo SAD.

Um segundo aspecto a ser considerado é a respeito do número de alternativas de decisão que foi razoável. Nas análises feitas no Capítulo 3, o limiar é de até cinco alternativas de decisão para se reduzir as chances de muitas perguntas serem feitas na Etapa 4.

Com relação aos critérios escolhidos, embora todos sejam de mesma natureza, a quantidade de oito critérios é alta. Aqui, caberia uma intervenção do analista de decisão solicitando que, caso possível e sem prejuízo para o problema em questão, o decisor considerasse reduzir a quantidade de critérios a fim de evitar que múltiplas perguntas sejam feitas em todo o processo, em especial na elicitação flexível, e com isso, reduzisse as chances de inconsistências surgirem. Conforme observado nas análises, até cinco critérios seria ideal.

Partindo para a Etapa 2, ao total, sete perguntas foram feitas para que se definisse a ordem apresentada na Tabela 52.

Tabela 52 – Ordem das constantes de escala dos critérios do problema.

Ordem	Critério
1	Segurança
2	Localização
3	Preço
4	Característica Interna
5	Lazer
6	Vizinhança
7	Revenda
8	Espaço

Fonte: O Autor (2021).

Já neste momento o analista de decisão poderia fornecer suporte, auxiliando o decisor a pensar no problema com todos os critérios de maneira clara. Essa preocupação vem pelo fato da

ordenação ser feita não se considerando o grau de importância dos critérios por si só, mas o espaço de consequências do problema.

Na Etapa 3, por sua vez, foram feitas seis perguntas. Os pares de consequências apresentados durante a interação do decisor com o SAD, bem como as respostas fornecidas constam na Tabela 53.

Tabela 53 – Consequências e respostas fornecidas na Etapa 3 do problema.

	Consequência 1	Consequência 2	Escolha
Par 1	Segurança: 5; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 5; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 5;	Consequência 1
Par 2	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 5; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 4; Localização: 1; Característica Interna: 5; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Indiferente
Par 3	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 4; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 5; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 5; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Consequência 2
Par 4	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 5; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 5; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 5; Revenda: 1;	Consequência 1
Par 5	Segurança: 1; Lazer: 5; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 5; Revenda: 5;	Indiferente
Par 6	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 2; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 5; Revenda: 1;	Segurança: 1; Lazer: 2; Espaço: 5; Preço: 2; Localização: 1; Característica Interna: 2; Vizinhança: 2; Revenda: 5;	Consequência 1

Fonte: O Autor (2021).

Nessa etapa, as comparações exigem que relações sejam definidas comparando três critérios por vez, além disso, número de perguntas feitas nessa etapa é fixo e definido a priori.

A Etapa 4, por sua vez chega com o número de alternativas de decisão reduzidas a dois. Ou seja, apenas a ordenação das constantes de escala dos critérios do problema foi suficiente para reduzir de quatro para dois as alternativas potencialmente ótimas do problema. Ressalta-se que já nesse ponto, com a informação das alternativas restantes (Apartamento 1 e Apartamento 4) o

decisor pode tomar uma decisão optando por uma delas. Dentro desse contexto vem a avaliação holística incorporada no SAD do FITradeoff e discutida em Roselli, Almeida & Frej (2019). Não é, contudo, o foco nesse trabalho.

Nessa etapa, dadas as chances de um alto número de perguntas serem feitas, o decisor precisa ser informado e estimulado a manter o engajamento e concentração. Mais uma vez, o SAD pode fornecer informações sobre a probabilidades a respeito da quantidade de perguntas a serem feitas. Nesse caso, foi feito um total de nove perguntas (ver Tabela 54).

Nesse momento, há duas coisas a serem observadas, primeiro, que o número de perguntas tende a crescer e ultrapassar o limiar de cinco perguntas na Etapa 4 e esse já é um problema com alta complexidade já que o problema tem mais do que cinco critérios. Segundo, na nona questão, os mesmos critérios que foram comparados na terceira questão reaparecem. Assim, o analista deve intervir em pelo menos estes dois momentos: quando se passar da quinta questão e quando se chegar na nona em diante, que é quando começariam a se repetir os critérios. Além disso, o SAD pode emitir alertas nesses momentos indicando surgimento de momentos críticos.

Tabela 54 – Consequências e respostas fornecidas na Etapa 4 do problema.

	Consequência A	Consequência B	Escolha
Questão 1	Segurança: 3; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 5;	Consequência A
Questão 2	Segurança: 3; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 5; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Indiferente
Questão 3	Segurança: 1; Localização: 3; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 4; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Consequência A
Questão 4	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 3; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 5; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Indiferente
Questão 5	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 3.5; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 5; Vizinhaça: 2; Revenda: 1;	Consequência A

	Espaço: 2;	Espaço: 2;	
Questão 6	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 3.5; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 5; Revenda: 1; Espaço: 2;	Consequência A
Questão 7	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 3.5; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 5; Espaço: 2;	Consequência A
Questão 8	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 3; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 5;	Consequência A
Questão 9	Segurança: 1; Localização: 2; Preço: 2; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Segurança: 1; Localização: 1; Preço: 4; Característica Interna: 2; Lazer: 2; Vizinhaça: 2; Revenda: 1; Espaço: 2;	Indiferente

Fonte: O Autor (2021).

Tais intervenções mencionadas acima representam, portanto, formas de se aprimorar a experiência do decisor durante o processo de eliciação de preferências, ajudando-o a se manter engajado e concentrado.

4.3 Considerações Finais

A aplicação feita considerando um problema do experimento 1 ajuda a entender como este trabalho se propõe a gerar contribuições. Tal aplicação deixa mais claros também alguns aspectos considerados nas análises de dados e sua importância para o processo de eliciação. Deste modo, os *insights* e recomendações oriundos dos resultados obtidos nesse trabalho foram demonstrados, comentando como intervenções e abordagens do analista de decisão devem ser conduzidos. Além disso, as mudanças sugeridas para o SAD do FITradeoff também foram comentadas, indicando como alertas, ferramentas e informações adicionais podem ser incluídas de modo a aprimorar e experiência do decisor em sua interação com o sistema.

De maneira geral, a contribuição prática deste trabalho fica evidente, somando-se a contribuição teórica dentro das áreas de decisão multicritério e de sistemas de informação.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo traz o fechamento do trabalho com a apresentação das conclusões gerais. Os principais resultados obtidos são mostrados de maneira resumida, bem como suas implicações. É feita ainda a discussão da contribuição deste trabalho e são apresentadas as suas limitações. Além disso, são levantadas sugestões para trabalhos futuros a fim de cobrir novas questões não suportadas aqui.

5.1 Conclusões

Métodos e sistemas que suportam decisores em contextos multicritério são extremamente válidos e fornecem uma abordagem estruturada e mais simples para resolver problemas complexos. Por serem problemas comuns em ambientes de negócios, eles precisam ser resolvidos sem demandar muito tempo, visto que o tempo é um recurso escasso que deve ser utilizado de maneira adequada. Portanto, quase sempre são necessários sistemas e métodos que levam a um processo de resolução rápido. Espera-se também que, em tais processos, o decisor esteja engajado e forneça respostas consistentes. Os avanços, ao longo do tempo, possibilitaram melhorias no processo de elicitación, permitindo a criação de métodos multicritério e SADs em que menos esforço e tempo são necessários, reduzindo assim os riscos de ocorrência de inconsistências. As ferramentas da neurociência, entretanto, oferecem uma nova oportunidade de aprimoramento, permitindo um melhor entendimento de como as inconsistências ocorrem e se relacionam com os aspectos cognitivos do decisor.

Assim, o presente estudo foi desenvolvido, no qual se buscou analisar como questões relevantes nos problemas de decisão, como, por exemplo, o número de critérios, o número de alternativas, o número de perguntas e o tipo de critério predominante podem influenciar no processo de elicitación. As questões cognitivas subjacentes, como esforço cognitivo e engajamento, também foram analisadas por meio de dois experimentos com ferramentas de neurociência, no qual foram utilizados os dados de 76 participantes. No primeiro experimento, cada sujeito resolveu um problema de interesse desenvolvido por ele mesmo, conferindo maior realidade e motivação para a participação no experimento. Esse experimento foi composto ainda por uma amostra de decisores com bons conhecimentos em métodos multicritério. Por sua vez,

no segundo experimento, uma amostra formada por decisores com menor nível de conhecimento em decisão multicritério resolveu um problema padrão de escolha de smartphone. Aqui, buscou-se ganho em padronização mesmo com a perda em realidade. Em ambos, foi utilizado o FITradeoff, um método multicritério no contexto compensatório que incorpora alguns avanços da área para oferecer uma experiência que gere menos inconsistências. Buscou-se assim obter diversos *insights* que viabilizem a melhoria no processo de decisão multicritério com foco no FITradeoff e SAD associado, analisando diversos fatores presentes nos experimentos realizados.

De maneira geral, por meio dos SAD do FITradeoff, foi possível verificar a influência do tipo de critério predominante no esforço cognitivo e no engajamento ao longo do processo de eliciação de preferências. Problemas com critérios predominantemente iguais (qualitativos ou quantitativos) geram menos esforço e alto engajamento. O tipo de critério predominante em um problema é uma variável relevante. As melhorias no SAD quanto a esse fator devem incluir cuidado na comparação de critérios, evitando, sempre que possível, aqueles de diferentes tipos. O próprio analista de decisão pode intervir nessas situações, fornecendo maior suporte durante o processo de eliciação, ou solicitando ao decisor que analise e repense os critérios utilizados. O número de critérios e o número de questões ao longo do processo são variáveis que se relacionam negativamente com o esforço cognitivo do decisor. Em outras palavras, o aumento de tais variáveis é acompanhado por uma redução no esforço cognitivo que o decisor realiza, ao contrário do que se espera, provavelmente, porque o decisor aplica uma estratégia de minimização de esforço. Tal efeito pode ser responsável pela ocorrência de inconsistências nos problemas, uma vez que o decisor pode estar fornecendo informações sobre suas preferências sem despendendo o devido esforço nos problemas à medida que sua complexidade aumenta. Assim, problemas com elevado número de critérios e questões devem receber atenção especial para que o decisor receba maior apoio do analista de decisão e de ferramentas e melhorias no SAD. Também é enfatizado o efeito do número de alternativas de decisão, que é uma variável que influencia, junto com o número de critérios, o número de questões que o processo de eliciação de preferências exigirá. Quanto às etapas e ao conhecimento do decisor no que diz respeito a métodos multicritério e problemas de decisão, foi possível confirmar o efeito de incremento de complexidade entre etapas e que, quando acompanhada de incremento no esforço demandado pelos decisores, menores são as chances de inconsistências. Além disso, o conhecimento sobre construção de modelos multicritério e SADs associados, bem como, sobre o problema de decisão

são fatores importantes para o engajamento e concentração dos decisores com implicações sobre as inconsistências. Todas essas observações fornecem evidências de ações e esforços a serem direcionados para aumentar a consistência nas respostas ao longo do processo e para aumentar a satisfação e o envolvimento do decisor ao interagir com o SAD.

Assim, no campo teórico, este trabalho contribui para a compreensão do impacto de variáveis relevantes durante a construção de modelos de decisão e interação com SADs no contexto multicritério, bem como, o efeito conjunto entre essas variáveis. Apesar disso, deve ser considerado que muitos resultados, em especial no que diz respeito ao efeito de muitas perguntas e critérios sobre o esforço cognitivo e engajamento podem ser aplicados para outros contextos que envolvam diferentes métodos de apoio a decisão ou até mesmo em situações que não incluam abordagens multicritério. De igual modo, no campo prático, também há ganhos no que diz respeito a interação do analista de decisão com o decisor e no design do SAD do FITradeoff. Mais uma vez, as recomendações práticas não são limitadas ao método aplicado nos experimentos, embora, tenham sido contextualizadas. Deste modo, emergem deste trabalho contribuições para a áreas de sistemas de informação e decisão multicritério, tendo sido a integração com as ferramentas de neurociência extremamente valiosas e relevantes para esse fim.

5.2 Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros

Apesar desses achados, o trabalho apresenta limitações e novas análises devem ser realizadas a fim de ampliar o conhecimento sobre as questões cognitivas durante o processo de elicitación de preferências. A primeira limitação está relacionada ao tamanho e tipo da amostra que incluiu alunos de graduação, mestrado e doutorado. Assim, estudos futuros, com amostra maior, devem direcionar as análises, subdividindo a amostra de acordo com o grau de conhecimento dos sujeitos nos métodos multicritério e se possuem ou não experiência prática em ambientes de negócios. Além disso, o gênero também deve ser considerado em estudos, como também o horário de execução dos experimentos e sua influência sobre o comportamento dos decisores no que diz respeito a estresse e cansaço.

Em termos de análise, algumas medidas não foram utilizadas e poderiam ser utilmente agregadas ao estudo do processo de decisão com os sistemas de apoio a decisão. Com relação ao EEG alguns exemplos são as bandas de frequência alfa, beta e gama, que têm sido relacionadas a

importantes questões cognitivas (MÜLLER-PUTZ; RIEDL; WRIESSNEGGER, 2015). Com relação ao *Eye Tracking*, medidas de fixação e áreas de interesse, comumente relacionadas à alocação de atenção, aprendizado e concentração, devem ser incorporadas, resultando assim em novos *insights*.

Um estudo mais direcionado sobre inconsistências também deve ser realizado, permitindo mensurar a efetiva taxa de inconsistência do FITradeoff e novas variáveis envolvidas, além das estudadas nesse trabalho. Para tanto, um novo mecanismo de teste de inconsistência, bem como de tratamento das mesmas devem ser incorporados para esse fim, permitindo-se confirmar a taxa de 5% esperada para o método FITradeoff.

Outras ferramentas podem ser incluídas ainda, como um medido de frequência cardíaca para avaliação do estresse, como captura de imagem facial para identificação de expressões e emoções. Essas últimas ainda podem ser induzidas por meio da aplicação de vídeos antes da utilização do SAD para a compreensão da influência das emoções sobre a elicitación de preferências.

As relações entre as variáveis também podem ser melhor exploradas em estudos futuros. Espera-se que a análise possa ser aprofundada com as variáveis consideradas neste estudo, permitindo assim um melhor entendimento do papel do número de critérios, do número de questões e do tipo de critério predominante e suas relações com as questões cognitivas subjacentes à preferência, processo de elicitación e inconsistências nas respostas. Além disso, outros fatores relevantes devem ser incorporados e explorados.

Por fim, embora todas as análises feitas consideraram relações e características comuns em métodos compensatórios, o FITradeoff foi utilizado neste estudo. Se, por um lado, houve um ganho na realidade ao expor os participantes a um sistema de apoio a decisão real, estudos futuros devem focar em tarefas específicas do processo de elicitación com características genéricas dos métodos compensatórios para evitar vieses.

REFERÊNCIAS

- ABREU KANG, T. H.; DA COSTA SOARES JÚNIOR, A. M.; DE ALMEIDA, A. T. Evaluating electric power generation technologies: A multicriteria analysis based on the FITradeoff method. **Energy**, v. 165, p. 10–20, 2018.
- ALVAREZ CARRILLO, P. A. et al. Selecting an agricultural technology package based on the flexible and interactive tradeoff method. **Annals of Operations Research**, 2018.
- BAŞAR, E. et al. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. **International Journal of Psychophysiology**, v. 39, n. 2, p. 241–248, 2001.
- BITSIOS, P.; PRETTYMAN, R.; SZABADI, E. Changes in Autonomic Function with Age: A Study of Pupillary Kinetics in Healthy Young and Old People. **Age and Ageing**, v. 25, n. 6, p. 432–438, 1 nov. 1996.
- BORCHERDING, K.; EPPEL, T.; VON WINTERFELDT, D. Comparison of Weighting Judgments in Multiattribute Utility Measurement. **Management Science**, v. 37, n. 12, p. 1603–1619, 1 dez. 1991.
- CAMILO, D. G. G. et al. Multi-criteria analysis in the health area: selection of the most appropriate triage system for the emergency care units in natal. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 20, n. 1, p. 38, 2020.
- COAN, J. A.; ALLEN, J. J. B. Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. **Biological Psychology**, v. 67, n. 1, p. 7–50, 2004.
- DA SILVA, A. L. C. DE L.; COSTA, A. P. C. S. FITradeoff Decision Support System: An Exploratory Study with Neuroscience Tools. In: DAVIS, F. D. et al. (Eds.). . **Information Systems and Neuroscience**. [s.l.] Springer, Cham, 2020.
- DA SILVA, A. L. C. DE L.; COSTA, A. P. C. S.; DE ALMEIDA, A. T. Exploring cognitive aspects of FITradeoff method using neuroscience tools. **Annals of Operations Research**, 2021.
- DAVIDSON, R. J. et al. **Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: Emotional expression and brain physiology: I.** **Journal of Personality and Social Psychology** USAmerican Psychological Association, , 1990.
- DE ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. [s.l.] Editora Atlas S.A., 2013.
- DE ALMEIDA, A. T. et al. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. **International Series in Operations Research & Management Science**. [s.l.: s.n.]. v. 231
- DE ALMEIDA, A. T. et al. 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 GUINEA, A. O.; WEBSTER, J. An investigation of information systems use patterns: Technological events as triggers, the effect of time, and consequences for performance. **Mis Quarterly**, p. 1165–1188, 2013.

DE MACEDO, P. P.; MOTA, C. M. DE M.; SOLA, A. V. H. Meeting the Brazilian Energy Efficiency Law: A flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 822–832, 2018.

DELL’OVO, M. et al. **Multicriteria decision making for healthcare facilities location with visualization based on FITradeoff method**. International Conference on Decision Support System Technology. **Anais...Springer**, 2017

DIMOKA, A. et al. On the Use of Neurophysiological Tools in IS Research: Developing a Research Agenda for NeuroIS. **MIS Quarterly**, v. 36, n. 3, p. 679–702, 8 jun. 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.

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

FOSSILE, D. K. et al. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121107, 2020.

FREJ, E. A. et al. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, p. 4541914, 2017.

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

GLIMCHER, P. W.; RUSTICHINI, A. Neuroeconomics: the consilience of brain and decision. **Science (New York, N.Y.)**, v. 306, n. 5695, p. 447–452, 2004.

HAKIMI, S.; HARE, T. A. Enhanced Neural Responses to Imagined Primary Rewards Predict Reduced Monetary Temporal Discounting. **The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience**, v. 35, n. 38, p. 13103–13109, 23 set. 2015.

HENRIQUES DE GUSMÃO, A. P.; PEREIRA MEDEIROS, C. A Model for Selecting a Strategic Information System Using the FITradeoff. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2016, p. 7850960, 2016.

HESS, E. H.; POLT, J. M. Pupil Size in Relation to Mental Activity during Simple Problem-Solving. **Science**, v. 143, n. 3611, p. 1190 LP – 1192, 13 mar. 1964.

JOHNSON, E. et al. **Task-evoked pupillometry provides a window into the development of short-term memory capacity** **Frontiers in Psychology** , 2014. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.00218>>

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, 17 set. 2020.

KEENEY, R.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. New York, John Wiley and Sons Inc, , 1976.

KHUSHABA, R. N. et al. 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.

KLIMESCH, W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. **International Journal of Psychophysiology**, v. 24, n. 1, p. 61–100, 1996.

LOPEZ-PERSEM, A. et al. Four core properties of the human brain valuation system demonstrated in intracranial signals. **Nature Neuroscience**, v. 23, n. 5, p. 664–675, 2020.

LUKINOVA, E.; MYAGKOV, M. **Impact of Short Social Training on Prosocial Behaviors: An fMRI Study** **Frontiers in Systems Neuroscience** , 2016. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnsys.2016.00060>>

LV, C. et al. Activation patterns of the dorsal medial prefrontal cortex and frontal pole predict individual differences in decision impulsivity. **Brain Imaging and Behavior**, 2020.

MA, Q. et al. **The undermining effect of facial attractiveness on brain responses to fairness in the Ultimatum Game: an ERP study** **Frontiers in Neuroscience** , 2015. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2015.00077>>

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

MENDES, J. A. J. et al. **EVALUATION OF FLEXIBLE AND INTERACTIVE TRADEOFF METHOD BASED ON NUMERICAL SIMULATION EXPERIMENTS** **Pesquisa Operacional scielo** , , 2020.

MONTE, M. B. DA S.; MORAIS, D. C. A Decision Model for Identifying and Solving Problems in an Urban Water Supply System. **Water Resources Management**, v. 33, n. 14, p. 4835–4848, 2019.

MORIDIS, C. N. et al. Using EEG Frontal Asymmetry to Predict IT User's Perceptions Regarding Usefulness, Ease of Use and Playfulness. **Applied Psychophysiology and**

Biofeedback, v. 43, n. 1, p. 1–11, 2018.

MÜLLER-PUTZ, G. R.; RIEDL, R.; WRIESSNEGGER, S. C. Electroencephalography (EEG) as a Research Tool in the Information Systems Discipline: Foundations, Measurement, and Applications. **CAIS**, v. 37, p. 46, 2015.

MUSSEL, P. et al. Patterns of theta oscillation reflect the neural basis of individual differences in epistemic motivation. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 29245, 2016.

PALVA, S.; PALVA, J. M. New vistas for α -frequency band oscillations. **Trends in Neurosciences**, v. 30, n. 4, p. 150–158, 2007.

PAVLOU, P.; DAVIS, F.; DIMOKA, A. Neuro IS: the potential of cognitive neuroscience for information systems research. **ICIS 2007 Proceedings**, p. 122, 2007.

PAYNE, J. W.; BETTMAN, J. R.; JOHNSON, E. J. **The adaptive decision maker**. New York, NY, US: Cambridge University Press, 1993.

PERGHER, I. et al. Integrating simulation and FITradeoff method for scheduling rules selection in job-shop production systems. **International Journal of Production Economics**, v. 227, p. 107669, 2020.

PIZZAGALLI, D. Electroencephalography and high-density electrophysiological source localization. **Handbook of Psychophysiology**, p. 56–84, 1 jan. 2007.

POGODA, L. et al. Multivariate representation of food preferences in the human brain. **Brain and cognition**, v. 110, p. 43–52, 2016.

POUDEL, G. R. et al. Neural correlates of decision-making during a Bayesian choice task. **NeuroReport**, v. 28, n. 4, p. 193–199, 2017.

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

REZNIK, S. J.; ALLEN, J. J. B. Frontal asymmetry as a mediator and moderator of emotion: An updated review. **Psychophysiology**, v. 55, n. 1, p. e12965, 1 jan. 2018.

ROSCH, J. L.; VOGEL-WALCUTT, J. J. A review of eye-tracking applications as tools for training. **Cognition, Technology & Work**, v. 15, n. 3, p. 313–327, 2013.

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

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. **Operational Research**, v. 19, n. 4, p. 933–953, 2019.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la décision**. [s.l.] Economica, 1985.

SALO, A. A.; HÄMÄLÄINEN, R. P. Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements. **Operations Research**, v. 40, n. 6, p. 1053–1061, 1 dez. 1992.

SHARMA, N.; GEDEON, T. Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 108, n. 3, p. 1287–1301, 2012.

SHEVCHENKO, Y.; BRÖDER, A. The effect of mood on integration of information in a multi-attribute decision task. **Acta Psychologica**, v. 185, p. 136–145, 2018.

SUN, H. et al. Framing a trust game as a power game greatly affects interbrain synchronicity between trustor and trustee. **Social Neuroscience**, v. 14, n. 6, p. 635–648, 2 nov. 2019.

VAN DER WEL, P.; VAN STEENBERGEN, H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 25, n. 6, p. 2005–2015, 2018.

VAN DUIJVENVOORDE, A. C. K. et al. Neural Mechanisms Underlying Compensatory and Noncompensatory Strategies in Risky Choice. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 28, n. 9, p. 1358–1373, 11 maio 2016.

VAN HOLSTEIN, M.; FLORESCO, S. B. Dissociable roles for the ventral and dorsal medial prefrontal cortex in cue-guided risk/reward decision making. **Neuropsychopharmacology**, v. 45, n. 4, p. 683–693, 2020.

VANCE, A. et al. Tuning out security warnings: A longitudinal examination of habituation through fMRI, eye tracking, and field experiments. **MIS Quarterly**, v. 42, n. 2, p. 355–380, 2018.

VIDULICH, M. A.; TSANG, P. S. **Mental Workload and Situation Awareness Handbook of Human Factors and Ergonomics**: Wiley Online Books., 26 mar. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118131350.ch8>.

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