



**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

**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS COMPORTAMENTAIS NA
ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O MÉTODO
FITRADEOFF COM APOIO DE NEUROCIÊNCIAS EM
DECISÃO**

RECIFE

2018

Anderson Lucas Carneiro de Lima da Silva

**AVALIAÇÃO DE ASPECTOS COMPORTAMENTAIS NA
ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS COM O MÉTODO
FITRADEOFF COM APOIO DE NEUROCIÊNCIAS EM
DECISÃO**

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

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S586a Silva, Anderson Lucas Carneiro de Lima da.
Avaliação de aspectos comportamentais na elicitación de preferências com método Fitradeoff com apoio de neurociências em decisão / Anderson Lucas Carneiro de Lima da Silva. – Recife: 2018.
68f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Neurociências em decisão. 3. Aspectos comportamentais em decisão. 4. Desenho de SAD. 5. Análise com Fitradeoff. 6. Modelagem de preferências. I. Costa, Ana Paula Cabral Seixas (Orientadora). II. Almeida, Adiel Teixeira de (Coorientador). III. Título.

658.5 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2018-202



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE**

ANDERSON LUCAS CARNEIRO LIMA DA SILVA

***“AVALIAÇÃO DE ASPECTOS COMPORTAMENTAIS NA ELICITAÇÃO
DE PREFERÊNCIAS COM O MÉTODO FITRADEOFF COM APOIO DE
NEUROCIÊNCIAS EM DECISÃO”***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o(a) candidato(a) **ANDERSON LUCAS CARNEIRO LIMA DA SILVA, APROVADO(A)**.

Recife, 21 de fevereiro de 2017.

Prof^ª. ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutora (UFPE)

Prof^ª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE)

Prof. ANDRÉ FELIPE ALBUQUERQUE FELL, Doutor (UFPE)

Aos meus pais Zezito e Keila e à minha irmã Juliane.

Referências na minha vida do amor de Deus
que excede a própria vida, e do amor para Ele
que deve ser de todo o coração,
alma, forças e entendimento.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, o motivo, o sentido e a razão do viver. Ele é a fonte de toda benção e, sem Ele, nada é possível. Sei que cada conquista que tenho alcançado é fruto de Sua graça e misericórdia e, assim, faço minhas as palavras do rei Davi para agradecer ao Grande Eu Sou: Porque tudo vem de Ti, e da Tua mão to damos (1Cr 29:14b)

Aos meus pais Zezito e Keila e à minha irmã Juliane, verdadeiras benções de Deus e instrumentos dEle para me ajudar na caminhada da vida. É através dela que tenho aprendido aquilo que qualquer pessoa deve almejar mais do que tudo: os valores de Deus.

Aos meus tios-avós, parte fundamental da minha jornada. Pessoas também colocadas por Deus em meu caminho para me abençoar, ajudar e crescer.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelo compromisso e seriedade na execução de suas atividades, bem como, pela formação de excelência proporcionada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro e oportunidade de realizar esse trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa, pela real orientação e por ter acreditado e investido em mim. Com ela, aprendi muito mais do que os conceitos utilizados nesse trabalho. Sua dedicação, organização, paciência, atenção e zelo me inspiraram e me inspiram muito e têm me feito crescer como pessoa e profissional.

Ao Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida, pela coorientação de qualidade e todo apoio dispendido. Também um referencial para mim, termino esse processo melhor do que comecei graças a sua ajuda e dedicação.

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

Aos funcionários da Secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelo efetivo auxílio nos procedimentos relativos aos assuntos institucionais.

Por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desse trabalho.

RESUMO

Processos decisórios podem ser bastante complexos, principalmente quando há diversas alternativas em questão e múltiplos critérios para se considerar. Nesse sentido, os métodos de apoio a decisão e os modelos de decisão se tornam fundamentais a fim de gerar recomendações que apoiem os decisores por meio de uma abordagem estruturada. Aqui, uma etapa crucial consiste na elicitación de preferências, que a depender do procedimento selecionado pode tornar o processo ineficiente, gerar desgastes aos decisores, bem como, recomendações que destoam dos interesses dos mesmos. Assim, o presente trabalho buscou avaliar o método de elicitación de preferências FITradeoff em um sistema de apoio a decisão (SAD) com o uso de equipamentos de neurociência. Os aspectos cognitivos, tais como, atenção, interesse e esforço intelectual, evocados durante o processo foram, então, analisados a fim de se levantarem hipóteses acerca do atendimento dos objetivos do método FITradeoff. O experimento realizado consistiu na aplicação do SAD para o apoio a problemas multicritério desenvolvidos pelos próprios participantes. Durante o experimento, os decisores forneceram informações acerca de suas preferências, e dados relativos a potência das ondas cerebrais nas bandas alfa (8-12Hz) e beta (13-30Hz) no cérebro e de dilatação de pupila de cada um deles foram coletados por meio de um EEG e Eye Tracker, respectivamente. Uma análise exploratória permitiu identificar padrões que sugerem que o processo de elicitación com o uso do FITradeoff estimula maiores níveis de atenção e interesse do que de esforço cognitivo, concordando com o propósito do método de tornar a experiência fácil e atrativa para o decisor. Tal hipótese, entretanto, deve ser testada em estudos futuros.

Palavras-Chave: Neurociências em decisão. Aspectos comportamentais em decisão. Desenho de SAD. Análise com FITradeoff. Modelagem de preferências.

ABSTRACT

Decision-making processes can be quite complex, especially when there are several alternatives and multiple criteria to consider. In this regard, decision support methods and decision models become critical in order to generate recommendations that support decision-makers through a structured approach. An important step in that process is the elicitation of preferences, which depending on the procedure selected can make the process inefficient, generate wear and tear on decision makers, as well as recommendations that disregard the interests of the decision makers. Thus, the present work sought to evaluate the FITradeoff method for preference elicitation in a decision support system (DSS) with the use of neuroscience equipments. The cognitive aspects, such as attention, interest and intellectual effort, evoked during the process were then analyzed in order to raise hypotheses about the fulfillment of the objectives of the FITradeoff method. The experiment in this work consisted of the application of the DSS to support multicriteria problems developed by the participants themselves. During the experiment, decision makers provided information about their preferences, and data on power in the alpha (8-12Hz) and beta (13-30Hz) bands in the brain and pupil dilation for each subjects were collected through an EEG and Eye Tracker, respectively. An exploratory analysis allowed us to identify patterns that suggest that the elicitation process with the use of FITradeoff stimulates higher levels of attention and interest than of cognitive effort, agreeing with the purpose of the method of making the experience easy and attractive for the decision maker. Such hypothesis, however, must be tested in future studies.

Keywords: Decision neuroscience. Behavioral aspects in decision making. DSS design. Analysis with FITradeoff. Preferences modeling.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Ferramentas para estudos em Neurociência em Decisão. A: tubo de ressonância magnética. B: EEG. C: eye-tracker. D: sensor de resposta galvânica da pele.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2 - Processo do sistema de apoio a decisão com uso do FITradeoff.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3 - Telas do sistema de apoio a decisão com uso do FITradeoff.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4 - Experimento realizado neste trabalho.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5 - Localização dos 14 canais do Emotiv Epoc+ e dos canais de referência.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 6 - Valores médios da dilatação da pupila em função do número de subetapas para todos os participantes.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7 - Valores médios da dilatação da pupila em função da duração do experimento para todos os participantes.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 - Valores médios da dilatação da pupila em função da duração das subetapas para todos os participantes.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 9 - Variação do valor médio de dilatação da pupila em função do número total de subetapas.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta ao longo das subetapas para todos os participantes.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11 - Diferença absoluta de potência das bandas alfa e beta ao longo das subetapas para todos os participantes.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 12 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta em função da duração das subetapas para todos os participantes.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 13 - Mapas topográficos EEG para dois participantes com as frequências 8, 12, 15, 20 e 30 Hz ao longo das subetapas.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 14 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta e da dilatação da pupila ao longo das subetapas para todos os participantes.....</i>	<i>55</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Localização dos canais do Emotiv Epoc+ e regiões cerebrais.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 2 - Tipo de problema, número de alternativas, de critérios, número total de subetapas, de subetapas dentro de cada etapa e duração total do experimento em segundos para todos os participantes.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3 - Correlação de Spearman para dilatação da pupila em função do número de subetapas, duração do experimento e duração das subetapas para todos os participantes.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 4 – Variação do valor médio de dilatação da pupila e número total de subetapas para todos os participantes.</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 5 - Correlação de Spearman para as bandas alfa e beta e número de subetapas do experimento para todos os participantes.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 6 - Correlação de Spearman para diferença absoluta de potência entre as bandas alfa e beta em função do número total de subetapas para todos os participantes.</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 7 – Correlação de Spearman para a potência das bandas alfa e beta em função da duração das subetapas para todos os participantes.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 8 - Média da potência das bandas alfa e beta para os dez participantes ao longo das áreas cerebrais.</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 9 – Áreas cerebrais com maior destaque para as bandas alfa e beta para todos os participantes.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 10 - Correlação de Spearman para dilatação da pupila em função da potência das bandas alfa e beta para todos os participantes.</i>	<i>57</i>

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1</i>	18
<i>Equação 2</i>	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	Métodos de Pesquisa	15
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Fundamentação Teórica	17
2.1.1	Decisão Multicritério e o método FITradeoff	17
2.1.2	Estudos Comportamentais em Decisão Multicritério	19
2.1.3	Neurociências em Decisão	20
2.2	Revisão da Literatura	22
2.2.1	Experimentos de Neurociência em Decisão em Geral	22
2.2.2	Experimentos de Neurociências em Decisão Multicritério	25
2.2.3	Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho	26
3	EXPERIMENTOS DE NEUROCIÊNCIAS EM DECISÃO COM FITRADEOFF	28
3.1	O Método FITradeoff e Estudos Comportamentais para Elicitação de Preferências	28
3.2	Desenho do Experimento de Neurociências em decisão para Elicitação de Preferências	32
3.2.1	Participantes	32
3.2.2	Descrição da tarefa e preparação	33
3.2.3	Equipamentos e softwares para coleta, processamento e análise de dados	33
3.2.4	Análise estatística	35
3.3	Resultados do Experimento	36
3.3.1	Características dos experimentos	36
3.3.2	Análise da dilatação da pupila	37

3.3.3	Análise da potência das bandas alfa e beta	45
3.3.4	Análise da potência das bandas alfa e beta e dilatação da pupila	54
3.4	Discussão dos Resultados	57
3.5	Considerações Finais do Capítulo	60
4	CONCLUSÕES	61
4.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Problemas de decisão estão presentes no dia-a-dia de todo mundo, isto é, desde escolhas simples como acordar ou dormir mais um pouco, até situações mais complexas como onde realizar um investimento financeiro. Tais decisões podem ainda ser tomadas em grupo, situação onde dois ou mais decisores assumem responsabilidade sobre a escolha realizada, ou dentro de um processo de negociação, onde o acordo entre as partes pode ser ou não alcançado (DE ALMEIDA et al., 2012). Em todas essas situações, os problemas geralmente envolvem mais de uma alternativa de escolha muitas vezes com múltiplos objetivos a serem alcançados que podem ser conflitantes entre si. De Almeida (2013) os define como problemas de decisão multicritério. Uma característica importante aqui é que em tais situações o nível de complexidade pode ser alto, criando a necessidade do uso de uma abordagem estruturada para apoio a decisão. Do contrário, impactos negativos podem ser observados pela tomada de decisão inadequada. Por outro lado, a abordagem estruturada, se feita de forma incorreta, também pode incorrer em prejuízos, demandando tempo e esforço cognitivo o qual o decisor pode não estar disposto ou não pode gastar. O próprio processo de elicitación de preferências aqui, se demandando muitas perguntas e informações detalhadas pode incorrer na geração de inconsistência nos resultados, influenciando negativamente na satisfação do decisor.

No contexto de decisão individual, diversos métodos têm sido desenvolvidos para o apoio ao processo decisório, oferecendo ao decisor uma abordagem que requeira menos esforço cognitivo e que leve a resultados confiáveis, podendo, muitas vezes, tais métodos serem expandidos com as devidas adaptações para as situações de decisão em grupo. Um desses métodos é o FITradoff (DE ALMEIDA et al.; 2016). O mesmo visa o desenvolvimento de um processo interativo e flexível, sendo assim, mais rápido e com menor esforço cognitivo. Como consequência, tem-se a redução de inconsistências nos resultados e uma experiência satisfatória do decisor.

Contudo, avaliar o efetivo do alcance dos objetivos com tais métodos ainda apresenta alguns desafios em função das limitações dos procedimentos de estudo tradicionais na área de decisão. Visando superar os mesmos, a Neurociência em Decisão tem se desenvolvido ao longo dos últimos anos integrando as ferramentas de neurociência para a obtenção de dados diretamente do cérebro e medidas fisiológicas que podem ser correlacionados a aspectos cognitivos (MASSAR et al., 2016; HAKIMI; HARE, 2015; MAGEN et al., 2014). Desse modo, torna-se possível compreender os mecanismos subjacentes ao processo decisório e apoiar o desenvolvimento de métodos, ferramentas e até sistemas de apoio a decisão. Soma-se a isso o fato de tais dados serem menos suscetíveis a vieses por parte do decisor, visto que se

encontram fora do controle do mesmo, representando fonte confiável para múltiplas análises (KHUSHABA et al., 2013; DIMOKA; PAVLOU; DAVIS, 2010).

Nesse sentido, o presente trabalho faz o uso conjunto de um equipamento EEG (*Electroencephalography*) e um rastreador ocular para avaliação do processo de elicitação de preferências através do FITradeoff em um sistema de apoio a decisão. Os aspectos cognitivos evocados durante o experimento no qual cada participante aplicou um problema de decisão desenvolvido por si mesmo num sistema de apoio a decisão (SAD) foram analisados e interpretados com base nos achados da literatura a fim de levantar hipóteses acerca do atendimento por parte do FITradeoff de seus objetivos, como também, do sistema de apoio a decisão utilizado. Para tanto, foram analisados os dados referentes à dilatação da pupila dos participantes, medida que pode ser relacionada a esforço mental e atenção (KAHNEMAN, 1973; QIYUAN et al., 1985), como os de potência elétrica das ondas cerebrais nas bandas alfa, que corresponde a faixa de frequência que vai de 8 a 12 Hz, e beta, que vai de 13 a 30 Hz, ao longo dos 14 canais do EEG (*Electroencephalography*) utilizado. Há evidências na literatura da relação positiva da banda alfa com níveis de atenção (SCHEERINGA et al., 2009; KLIMESCH; SCHACK; SAUSENG, 2005; KLIMESCH, 1999), enquanto que da banda beta com esforço cognitivo (JENSEN; KAISER; LACHAUX, 2007; MILTNER et al., 1999; MICHEL et al., 1993). Buscou-se, aqui, realizar uma análise exploratória a fim de obter *insights* para o desenvolvimento de pesquisas futuras com o FITradeoff.

1.1 Justificativa

Sendo a tomada de decisão um processo muitas vezes complexo, o uso de uma abordagem estruturada para apoio ao mesmo consiste em uma alternativa recomendável a fim de evitar que decisões equivocadas sejam estabelecidas. Nesse sentido se encontram os modelos de decisão, os quais demandam o devido cuidado para a sua construção sob o risco de gerar recomendações de decisões também equivocadas, ou levar ao desenvolvimento de uma experiência frustrante com o decisor.

Uma das etapas cruciais nesse processo é a elicitação de preferências do decisor, podendo demandar muito tempo e esforço cognitivo. Vários métodos têm sido propostos a fim de tornar o processo mais simples fazendo uso de informação parcial para a obtenção de uma recomendação e reduzindo as inconsistências geradas por abordagens mais complexas. Observar efetivamente, contudo, a eficácia de tais métodos nem sempre é algo simples e que pode ser limitado pelo tipo de dado e método utilizado para a análise.

Assim, a relevância do presente trabalho pode ser observada pelo uso de uma abordagem que integra dados neurais e fisiológicos para avaliar os aspectos comportamentais gerados através do uso do método FITradeoff. Sendo um estudo exploratório, os resultados

identificados no que tange a níveis de atenção, interesse e esforço cognitivo servem para o levantamento de hipóteses acerca do desempenho do FITradeoff no efetivo alcance dos objetivos para os quais foi desenvolvido.

Nesse sentido, o estudo e aperfeiçoamento dos métodos de elicitação de preferências se torna de grande valia, permitindo a disponibilização de métodos que melhorem o apoio a decisão nos diversos contextos organizacionais como também em problemas multicritério do dia-a-dia dos decisores. O FITradeoff tem esse potencial, e o estudo realizado aqui objetivou confirmar o mesmo, bem como, direcionar as melhorias que podem ser feitas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em identificar os aspectos comportamentais presentes no processo de elicitação de preferências através de um sistema de apoio a decisão com o uso do FITradeoff em um problema multicritério, de modo a avaliar o desempenho do sistema no que se refere a experiência do decisor no processo de apoio a decisão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Integrar os dados neurais relativos a potencia elétrica das ondas cerebrais ao longo das bandas alfa (8-12Hz) e beta (13-30Hz) nos 14 canais do EEG e de dilatação de pupila durante o processo de elicitação de preferências com uso do FITradeoff;
- Avaliar como os níveis de esforço cognitivo, atenção e interesse são demandados durante o processo de elicitação de preferências com uso do FITradeoff;
- Levantar hipóteses acerca da efetividade do método FITradeoff.

1.3 Método da Pesquisa

O presente trabalho classifica-se quanto a sua finalidade como uma pesquisa aplicada que busca avaliar o atendimento do FITradeoff de seus objetivos no que se refere à melhora na experiência do processo de elicitação de preferências através de um sistema de apoio a decisão, considerando os aspectos cognitivos evocados durante o processo (ANDER-EGG, 1978). Quanto à natureza do mesmo, é classificado como combinado do tipo incorporado, sendo predominantemente qualitativo, mas fazendo uso da abordagem quantitativa nas análises (MARTINS, 2012). Acerca de seu objetivo, classifica-se como exploratório uma vez que busca analisar o comportamento dos aspectos fisiológicos e neurológicos relacionados à

cognição durante o processo de eliciação de preferências (SELLTIZ; WRIGHTSMAN; COOK, 1965). Assim, com os dados obtidos, buscou-se a geração de *insights* e levantamento de hipóteses para futuros estudos. Os dados foram coletados por meio de um experimento realizado com estudantes de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Federal de Pernambuco os quais inseriram problemas multicritério desenvolvidos por eles próprios no sistema onde foi executado o FITradeoff. Mais detalhes são apresentados na seção 3.2.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 4 capítulos a seguir:

O Capítulo 1, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica dos principais temas abordados nesse trabalho, a saber: decisão multicritério, o método FITradeoff, estudos comportamentais em decisão multicritério; e neurociências em decisão. No mesmo capítulo, é apresentado ainda um mapeamento do estado da arte, sendo mostrado um breve resumo dos principais trabalhos que têm sido desenvolvidos na área de neurociência voltado para problemas de decisão em geral e decisão multicritério nos últimos anos e os resultados gerados.

O Capítulo 3 apresenta a importância de estudos comportamentais para eliciação de preferências, sendo, em seguida, mostrado o desenho experimental realizado aqui. Os resultados obtidos, bem como a discussão dos mesmos constam nesse capítulo.

O Capítulo 4, por fim, apresenta a conclusão dos resultados obtidos, discutindo as limitações do trabalho e propostas para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica dos temas tratados no presente trabalho, valendo-se, para isso, das principais referências na área. Os temas são: decisão multicritério, método FITradeoff, estudos comportamentais em decisão multicritério e neurociência em decisão. Aqui, é apresentado, também, o estado da arte sobre experimentos de neurociência em decisão num contexto mais geral, como em decisão multicritério, fornecendo, em seguida, o posicionamento deste trabalho.

2.1 Fundamentação Teórica

A base conceitual utilizada para trabalho é apresentada a seguir, e consiste em: decisão multicritério e o método FITradeoff; estudos comportamentais em decisão multicritério no tópico; e neurociências em decisão no tópico.

2.1.1 Decisão Multicritério e o método FITradeoff

Problema de decisão multicritério, segundo De Almeida (2013) p.1, pode ser definido como “situação, onde há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher e esta escolha é conduzida pelo desejo de se atender múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si”. Ainda segundo o autor, tais objetivos estão associados às variáveis que permitem a avaliação de cada alternativa e que podem ser chamadas de critérios. Aqui, possui destaque a figura do decisor que é quem tem o poder e é responsável pela tomada de decisão (DE ALMEIDA et al., 2012). Assim, o mesmo estabelece suas preferências sobre o conjunto de consequências a fim de obter uma solução. Tal processo, entretanto, pode ser muitas vezes complexo de modo que surge a necessidade do uso de uma abordagem estruturada de apoio. Nesse sentido, encontram-se os modelos de decisão e os métodos de apoio à decisão. Os primeiros consistem em representações simplificadas das situações de interesse e que podem se valer dos métodos de apoio a decisão, sendo esses últimos responsáveis por estabelecer a estrutura de preferências do decisor e propiciar a avaliação das alternativas consideradas no problema (DE ALMEIDA, 2013). Uma classificação útil de tais métodos é apresentada por Roy (1985) e consiste em: métodos de critério único de síntese; métodos de sobreclassificação; e métodos interativos. Aqui, destacam-se os do primeiro grupo, os quais também são chamados de métodos compensatórios, devido ao fato de que neles, um mal desempenho de uma alternativa em um dado critério pode ser compensado por um bom desempenho dessa em outro critério. Dentro desse grupo, encontram-se os modelos de agregação aditiva nos quais, cada alternativa recebe um valor de modo que quanto maior melhor. Tal valor é obtido através da Equação 1 mostrada a seguir:

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

Onde k_j é a constante de escala desse critério normalizada conforme apresentado na Equação 2:

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

E $v_j(a_i)$ é a função valor intracritério que define o valor de avaliação da alternativa i no critério j .

Vale ressaltar, aqui, a importância da correta definição de tais constantes de escala que não devem ser definidas apenas com base no grau de importância das mesmas com o risco de gerar recomendações que destoem fortemente das preferências dos decisores. Tais constantes devem, portanto, ser estabelecidas considerando as consequências obtidas na avaliação de cada objetivo, o que nem sempre é algo trivial. Assim, vários procedimentos têm sido desenvolvidos para o adequado alcance dos mesmos como o Tradeoff (KEENEY; RAIFFA, 1976), swing (VON WINTERFELDT; EDWARDS, 1986) e o ROC. Desses, o Tradeoff é o que apresenta estrutura axiomática mais robusta. Nele, as constantes são obtidas através da comparação de consequências hipotéticas até que se encontrem pontos de indiferença. Tal procedimento, contudo, é muitas vezes longo, exigindo alto esforço cognitivo do decisor. Uma alternativa, para tanto, é o FITradeoff (*Flexible Interactive Tradeoff*) proposto por De Almeida et al. (2016) que como o próprio nome sugere é baseado no Tradeoff, herdando, assim, sua forte estrutura axiomática, mas exigindo informação parcial acerca das preferências do decisor ao invés de informação completa como ocorre no primeiro. Como decorrência, menor esforço cognitivo é demandado do decisor, uma vez que para a comparação das consequências, apenas informações de preferência estrita são suficientes no método. Aqui, à medida que o decisor fornece informações sobre suas preferências, são formadas inequações que reduzem o espaço de pesos (φ) e que passam a incorporar um modelo de programação linear. O processo começa, então, coletando informações sobre a ordem de importância dos critérios com base no conjunto de alternativas do problema. Tais alternativas formam um conjunto X inicial sobre o qual o modelo de programação linear obtém valores conforme Equação 1 para cada uma dentro do espaço de pesos encontrado, testando, assim, o seu potencial de otimalidade. Uma alternativa será considerada potencialmente ótima se o valor obtido para a mesma for maior ou igual ao de todas as demais alternativas, simultaneamente, para pelo menos um conjunto de pesos dentro do espaço φ . Se o resultado for único, o procedimento termina e se tem uma recomendação. Caso contrário, o conjunto X é atualizado com as alternativas identificadas pelo modelo como potencialmente ótimas. A partir de então, são coletadas informações de preferência sobre consequências hipotéticas apresentadas aos mesmos. O modelo incorpora uma nova inequação a partir da informação previamente fornecida, reduzindo o espaço φ , e o modelo é mais uma vez executado sobre o

conjunto X atualizado na iteração anterior. Novamente, se a solução for única, o processo termina, se não, repete-se a etapa de apresentação de consequências hipotéticas, coletando mais informações com o decisor. A cada iteração, entretanto, o conjunto de alternativas potencialmente ótimas encontrado fica disponível para o decisor juntamente com a representação gráfica do desempenho das mesmas em todos os critérios do problema, servindo de apoio para que o decisor possa escolher uma opção sem precisar continuar fornecendo suas preferências. Três formas de representação gráfica são disponibilizadas aqui a fim de oferecer o máximo de suporte para o decisor fazer sua escolha, são elas: gráfico de barras, gráfico de radar e gráfico de bolhas. Dessa forma, o FITradeoff tende a reduzir o número de perguntas feitas ao decisor e o esforço cognitivo demandado. Uma consequência disso é a redução no número de inconsistências e a melhoria da experiência do decisor com o método.

2.1.2 Estudos Comportamentais em Decisão Multicritério

A importância de estudos comportamentais no contexto de apoio a decisão multicritério, principalmente no se refere ao processo de elicitación de preferências se justifica pelo fato de que a incorreta aplicação dos métodos e procedimentos aqui pode gerar resultados altamente dissonantes dos desejos dos decisores. Além disso, o próprio processo podendo ser longo e exigindo alto esforço cognitivo, impacta negativamente na satisfação dos decisores, bem como, na geração de inconsistências. Um exemplo disso é o fato do procedimento de elicitación de tradeoff resultar em uma taxa de inconsistências de aproximadamente 67% segundo estudos comportamentais (WEBER; BORCHERDING, 1993). Aqui, a alta carga cognitiva demandada do decisor, leva-o a não fornecer a informação de forma precisa, prejudicando os resultados obtidos. Como consequência, este pode ter que voltar algumas etapas do processo, tornando esse último cansativo, e exigindo um tempo o qual nem sempre está disponível para o decisor.

Assim, a identificação dos aspectos comportamentais evocados nos processos decisório fornecem valiosos *insights* para o desenvolvimento e avaliação dos métodos e procedimentos utilizados no apoio a decisão. A análise de dados neurais e aspectos fisiológicos são exemplos de como tal objetivo pode ser alcançado, fazendo a integração da neurociência com a área de decisão pelo que se tem a Neurociência em Decisão, discutida melhor a seguir na seção 2.1.3. Nesse sentido, equipamentos tais como tubos de ressonância magnética com uso de fMRI (*Functional Magnetic Resonance Imaging*) e EEG permitem a identificação das estruturas envolvidas na decisão, seja para compreensão do funcionamento da racionalidade compensatória ou não compensatória no cérebro (VAN DUIJVENVOORDE et al., 2016) ou da codificação do valor multiatributo (HUNT; DOLAN; BEHRENS, 2014). Há

de se destacar também os equipamentos de rastreamento ocular e outros que através de medidas fisiológicas fornecem informações úteis para tal área de pesquisa.

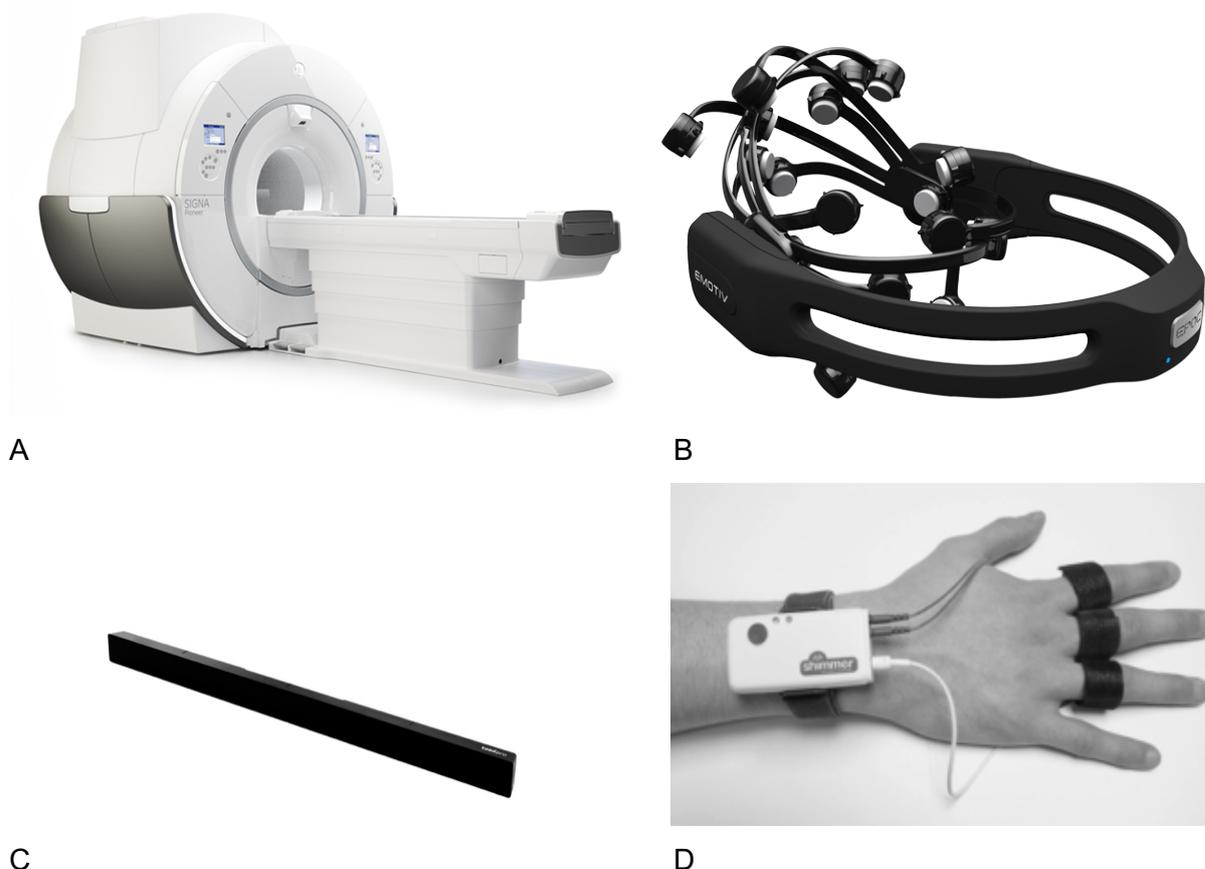
Diante disso, múltiplos achados têm sido obtidos nos últimos anos oferecendo suporte para a compreensão do processo decisório através de dados mais objetivos e imparciais, os dados neurais e de medidas fisiológicas, a despeito daqueles obtidos por outras técnicas como questionários (KHUSHABA et al., 2013; DIMOKA; PAVLOU; DAVIS, 2010). Em outras palavras, dados com menos vieses, como os obtidos aqui, permitem o alcance de resultados mais significativos e contribuição mais efetiva. É nesse contexto que os estudos comportamentais se tornam valiosos para a área de decisão multicritério, aperfeiçoando métodos, procedimentos, bem com a criação de novos, a fim de tornar a experiência do decisor com o processo de apoio a decisão aprimorado.

2.1.3 Neurociências em Decisão

A área de Neurociências em Decisão (tradução livre de '*Decision Neuroscience*') tem sua origem nos eventos que seguiram a revolução econômica neoclássica durante a década de 1930, bem como, no nascimento da neurociência cognitiva a partir dos anos 1990. Trata-se de uma área de estudo multidisciplinar, envolvendo, principalmente, a psicologia, a economia e a neurociência, e que se vale de técnicas e ferramentas dessa última para estudar os aspectos relacionados ao processo decisório (GLIMCHER; FEHR, 2014; GLIMCHER; RUSTICHINI, 2004).

Dentre as ferramentas utilizadas aqui, pode-se destacar: tubos de ressonância magnética, EEG, Eye Tracker e equipamentos de SCR (*Skin Conductance Response*) os quais são mostrados na Figura 1. Os dois primeiros são responsáveis por obter dados relacionados diretamente ao cérebro e proporcionam a associação entre as atividades observadas nesse com o aspecto que esteja sendo considerado no estudo. O primeiro, através de fMRI, entretanto, permite um detalhamento maior por meio da medição da mudança do fluxo sanguíneo cerebral, alcançando regiões mais internas do cérebro nas análises. Por sua vez, a vantagem do EEG é a precisão temporal em sua captura da atividade eletromagnética cerebral. O Eye Tracker, por sua vez, é voltado para a captura de dados relacionados aos olhos (posição, dilatação da pupila, sacadas e fixações) os quais podem ser associados a processos mentais também. Por fim, os equipamentos de SCR fornecem medidas indiretas dos aspectos cognitivos, assim como o Eye Tracker, mas a partir de dados de frequência cardíaca e suor.

Figura 1 - Ferramentas para estudos em Neurociência em Decisão. A: tubo de ressonância magnética. B: EEG. C: eye-tracker. D: sensor de resposta galvânica da pele.



Fonte: A: GE Healthcare (2017). B: EMOTIV (2017). C: Tobii (2017). D: iMotions (2017).

O interesse pela área de Neurociência em Decisão tem se intensificado ao longo dos últimos 20 anos conforme aponta pesquisa que coletou os dados de publicações no PubMed que detêm “*decision making*” e “*brain*” como palavras-chaves (GLIMCHER; FEHR, 2014). A razão para isso se encontra no fato da popularização dos métodos neurocientíficos, bem como nos avanços do estudo acerca dos sistemas cerebrais e mecanismos neurais no final da década de 1990 (VENKATRAMAN, 2013). Foi visto, assim, a oportunidade de obter insights importantes sobre mecanismos relacionados às preferências de decisão, bem como a aspectos econômicos e sociais. Dessa forma, a Neurociência em Decisão tem caminhado para o desenvolvimento de uma ampla gama de pesquisas dentro da tomada de decisão, incorporando vários conceitos presentes em outras áreas de estudo, mas, até então, analisados sem o viés neurológico. Assim, estudos sobre escolha intertemporal (HAKIMI; HARE, 2015; MAGEN et al., 2014; MIYAZAKI; MIYAZAKI; DOYA, 2011), risco e incerteza (POUDEL et al., 2017; RAGHURAMAN; PADOA-SCHIOPPA, 2014), valoração (MASSAR et al., 2016; POGODA et al., 2016; KANG et al., 2011), teoria dos jogos (MA et al., 2015;

LUKINOVA; MYAGKOV, 2016) e preferências sociais (STROMBACH et al., 2015) têm sido alvo de tal área apresentando resultados promissores.

2.2 Revisão da Literatura

Nesta seção é apresentada uma revisão da literatura acerca das pesquisas realizadas na área de neurociência em decisão. Para tanto, inicia-se com os estudos desenvolvidos envolvendo problemas de decisão em geral, e em seguida, são apresentados aqueles voltados para decisão multicritério.

2.2.1 Experimentos de Neurociência em Decisão em Geral

O estudo sobre a tomada de decisão tem sido desenvolvido em várias partes do mundo, considerando os mais diversos tipos de problema. No contexto de valoração, as pesquisas têm se voltado para a compreensão de como o valor e as preferências das alternativas de decisão são codificadas no cérebro e refletidas em aspectos fisiológicos. Um desses estudos é o de Kang et al. (2011) cujo foco foi avaliar se os cálculos de valoração de escolhas em situações reais e hipotéticas diferiam entre si no cérebro. Aqui, com o uso de fMRI, os participantes realizaram escolhas hipotéticas e reais sobre compras de bens de consumo. Os resultados demonstraram que atividades em áreas comuns do córtex orbitofrontal e do estriado ventral correlacionaram-se com medidas de valor dos bens nas duas situações, sendo, entretanto, mais forte para a escolha real. Tais resultados sugerem que as diferenças de escolha nas duas situações estão associadas, principalmente, a variações nos cálculos de valores do córtex orbitofrontal mediano e do estriado ventral e não ao uso de diferentes sistemas de avaliação. Outro exemplo na área de valoração é o estudo de Massar et al. (2016) que buscou avaliar se há uma relação entre o nível de esforço dispendido pelo decisor com o valor esperado do ganho com a decisão. Para tanto, foi realizada uma tarefa de atenção com diferentes tipos de recompensas, sendo medidos os custos subjetivos de desempenho. Os valores de dilatação de pupila serviram de suporte para o teste de hipótese. Os resultados sugeriram que recompensas maiores levaram a um desempenho e nível de esforço de atenção maiores. No trabalho de Raghuraman e Padoa-Schioppa (2014), por sua vez, foi avaliada a hipótese de que as escolhas entre bens são realizadas por meio da comparação de valores subjetivos calculados por meio da integração de todos os determinantes relevantes. Assim, em um estudo com macacos, envolvendo escolhas com risco associado, foi observado o córtex orbitofrontal (OFC) dos mesmos e os resultados sugeriram a existência de três populações de neurônios responsáveis por codificar o valor das ofertas individuais, o valor da opção escolhida e o resultado de escolha

independente do valor respectivamente. Foram identificados também, grupos adicionais de neurônios responsáveis pela codificação do risco associado a uma determinada opção e à sua natureza. Esse último é um estudo que engloba a avaliação de risco, outra linha de pesquisa em neurociência em decisão.

Mais recente, entretanto, tem-se o trabalho de Poudel et al. (2017) no qual se investigou como os correlatos neurais de atualização de informações se relacionam com situações de escolhas com incerteza envolvida envolvendo duas fontes de informação: probabilidades e evidência. Com o uso de fMRI, constatou-se maior ativação cerebral na rede executiva bilateral que abrange o córtex bilateral frontal, cingulado, posterior parietal e occipital no uso de uma estratégia ou de outra, ou de ambas. Contudo, na comparação entre a estratégia baseada em evidência e probabilidades, para a primeira, maior atividade nos córtices bilaterais médio e inferior frontal, além do córtex occipital lateral direito foi observada. Tais resultados suportam a hipótese de que essas regiões cerebrais sobrepostas e distintas dentro da rede frontoparietal estão envolvidas na incorporação de diferentes tipos de informação em situação de decisão com incerteza.

Ainda na linha de riscos, têm-se os estudos de tomada de decisão voltada para jogos. Um exemplo é o trabalho de Ma et al. (2015) que fez uso de equipamento EEG em um Jogo do Ultimato com participantes homens no qual as propostas eram acompanhadas de imagens faciais femininas classificadas como atraentes e pouco atraentes. Os resultados mostraram que a taxa de aceitação das propostas aumentou com o nível de equidade das mesmas, além de que, os participantes foram mais propensos a aceitar ofertas injustas quando apresentavam a condição de rosto atraente. Foi identificado, ainda, pela análise de ERP, uma diminuição do potencial N200, comumente associado a percepção e reconhecimento, e a presença de potenciais positivos tardios aprimorados (LPPs), que são associados a emoções, provocados pelas imagens de rostos atrativos em comparação com aqueles pouco atraentes. Além disso, a negatividade relacionada ao feedback (FRN) em resposta a uma apresentação de oferta não foi significativamente diferente para as ofertas injustas e justas na situação de rosto atraente. No entanto, as ofertas injustas geraram FRNs maiores em comparação com as ofertas justas na condição de rosto pouco atraente. Um efeito semelhante foi identificado para o P300. Os resultados demonstraram, assim, a influência da atratividade facial do proponente sobre os jogadores no que se refere à imparcialidade da oferta. Por sua vez, o trabalho de Lukinova e Myagkov (2016) avaliou duas situações de dilema sociais através do Dilema do Prisioneiro e do Jogo do Ultimato, usando fMRI para isso. Os resultados mostraram ativação do giro frontal inferior direito fortemente correlacionada com a atividade no córtex pré-frontal medial (mPFC) quando os participantes tomaram decisões econômicas em jogo com um participante conhecido, condição de alta sociabilidade, do que quando o jogo foi realizado com um participante desconhecido, condição de baixa sociabilidade.

Quanto à área de jogos envolvendo decisões sociais, pode-se destacar o estudo de Strombach et al. (2015) no qual participantes tiveram de escolher entre alternativas egoístas e generosas. Com o uso de fMRI, descobriu-se que as escolhas generosas envolviam a junção tempoparietal (TPJ), sendo essa responsável pela facilitação da superação do egoísmo. Há ainda o trabalho de Christov-Moore et al. (2017) que pode ser destacado aqui. Nele, foi usada estimulação magnética transcraniana com Theta Burst (cTBS) para interromper o funcionamento do córtex pré-frontal dorsolateral direito (DLPFC) e do córtex pré-frontal dorsomedial (DMPFC), bem como, da área MT/V5 do córtex visual dos participantes em um Jogo do Ditador não supervisionado a fim de avaliar as inclinações prosociais dos mesmos. No jogo, os participantes deveriam alocar, anonimamente, dinheiro real entre eles e jogadores de baixo e alto nível socioeconômico. Os resultados mostraram que os participantes foram mais generosos em suas ofertas quando submetidos ao cTBS sobre as duas áreas pré-visuais em comparação com o MT/V5. Esses dados sugerem que o DLPFC e o MPFC exercem controle inibitório sobre as inclinações prosociais durante o compartilhamento de valores, fazendo isso, entretanto, de maneiras diferentes: o dIPFC pode implementar o controle com base no contexto, enquanto o dmPFC pode implementar uma forma de controle independente do contexto.

Por fim, na linha de estudos voltados para a tomada de decisão intertemporal, ou seja, problemas que envolvem escolhas antecipadas ou postergadas com resultados diferentes no tempo, tem-se o de Hakimi e Hare (2015) que focou na representação neural de recompensas atrasadas. Uma vez que, não se podendo experimentar no presente tais recompensas, a avaliação das mesmas representa papel crucial para a decisão entre alternativas com benefícios imediatos ou atrasados. Com o uso de fMRI, descobriu-se que a resposta ventricular do córtex pré-frontal durante o recebimento de recompensa atrasada foi correlacionada com descontos da escolha monetária intertemporal. Além disso, a atividade melhorada no córtex pré-frontal ventromedial durante a imaginação de recompensa predisse o comportamento de desconto temporal. Nessa mesma linha, há o trabalho de Magen et al. (2014) que também fez uso de dados de neuroimagem para investigar como melhorar o autocontrole. Constatou-se que uma reformulação de recompensas foi capaz de reduzir o valor subjetivo de recompensas imediatas menores em relação a recompensas atrasadas maiores, aumentar a probabilidade de escolher as recompensas maiores atrasadas, reduzir as respostas cerebrais para recompensas imediatas no estriado dorsal e ventral e reduzir a atividade cerebral no córtex pré-frontal dorsolateral, um correlato de força de vontade, quando os participantes escolheram recompensas maiores futuras. No estudo de Miyazaki, Miyazaki e Doya (2011), por sua vez, em uma experiência com ratos, mostrou-se que a liberação de serotonina no cérebro está relacionada à regulação da paciência, atuando em situações de escolha intertemporal no que diz respeito ao processo de autocontrole.

2.2.2 Experimentos de Neurociências em Decisão Multicritério

No contexto de decisão multicritério, os estudos em neurociência em decisão também têm sido desenvolvidos para diversos tipos de problema. O trabalho de Park et al. (2011), por exemplo, voltou-se para a avaliação da codificação e integração de múltiplos valores associados a diferentes atributos através de uma atividade com o uso de fMRI na qual os participantes deveriam aceitar ou rejeitar ofertas que combinavam dois atributos, um de maximização e outro de minimização do valor correspondente. Os resultados mostraram evidência neural da existência de um mecanismo de integração interativo e não independente o qual é implementado no cérebro, estando fortemente envolvido nesse processo o córtex cingulado anterior subgenial (sgACC) em conjunto com a amígdala. Nessa mesma linha, há o trabalho de Lim, O'Doherty e Rangel (2013) no qual, através do uso de equipamento de ressonância magnética, os participantes avaliaram camisas cujos atributos estéticos, como a cor, e semântico (o significado da estampa) diferiam entre si. Foi constatado forte correlação entre a atividade no giro fusiforme com o valor dos atributos estéticos, enquanto que a atividade no giro temporal posterior superior tem correlação com o valor dos atributos semânticos. Observou-se, ainda, que tais áreas exibiram conectividade funcional com o córtex pré-frontal ventromedial (vmPFC), área associada a computação dos valores globais de estímulo no momento da decisão. Esses resultados suportam a hipótese de que alguns valores relacionados a atributos são computados em áreas do córtex especializadas no processamento de tais recursos e que esses valores específicos de atributos são enviados para o vmPFC para serem integrados em um sinal de valor geral para orientar a decisão. Outro trabalho a se destacar é o de Hunt, Dolan e Behrens (2014) que se voltou para a avaliação da construção de preferências em problemas de escolha com múltiplos atributos. Usando dados de imagem funcional e modelagem computacional, os participantes foram submetidos a uma tarefa de escolha com múltiplos atributos. Os resultados obtidos sugerem a influência do sulco intraparietal (IPS) na sinalização do atributo mais importante, enquanto que o córtex frontal medial influencia na sinalização de valor integrado das alternativas. Além disso, observou-se que IPS alterou sua conectividade com regiões envolvidas no processo de comparação dentro de atributo em função de qual atributo era mais relevante em cada etapa. Os resultados obtidos sugerem a existência de um mecanismo de competição canônica em todas as etapas de uma hierarquia de processamento, presente em todas as fases, não apenas na de escolha final.

Fazendo uso, entretanto, de EEG e um rastreador ocular, o trabalho de Khushaba et al. (2013) avaliou os comportamentos fisiológicos dos participantes em um problema no qual foram solicitados a expor suas preferências em um problema de escolha de biscoitos cujas características de forma, sabor e cobertura eram variadas e representavam os atributos de

decisão. Os resultados indicaram que a sincronização entre as áreas frontal e occipital, bem como o padrão nas atividades espectrais de potência nas regiões frontal (delta, alfa e beta), temporal (alfa, beta, gama) e occipital (theta, alfa e beta) estiveram associados às escolhas preferidas. Por sua vez, o trabalho de Van Duijvenvoorde et al. (2016) se voltou para o estudo dos mecanismos neurais subjacentes às estratégias compensatórias e não compensatórias dos múltiplos critérios em problemas de decisão envolvendo risco. Assim, os participantes foram submetidos a problemas de decisão que incluíram um conjunto de itens "simples" no qual havia uma opção superior em todos os atributos e um conjunto de itens de "conflito", em que as opções apresentavam desempenho superior em um atributo, mas inferior nos demais, variando entre elas. Tais participantes foram classificados como tomadores de decisão usando uma estratégia compensatória ou não compensatória e observado o comportamento cerebral com o uso de fMRI. Como esperado, as maiores diferenças foram observadas na situação de conflito. Aqui, constatou-se que o primeiro grupo de decisores apresentou codificação do valor esperado no córtex parietal, enquanto que o grupo não compensatório apresentou evidência limitada de um sinal de valor esperado paramétrico nessa região. Os resultados sugerem que a codificação do valor esperado nessa tarefa é um processo mais deliberativo. Por sua vez, no grupo de decisores não-compensatórios foi observado maior ativação no dorsolateral pré-frontal córtex (dlPFC), consistente a interpretação de que o mesmo atua na detecção de conflitos de decisão e viés heurístico.

2.2.3 Síntese do Estado da Arte e Posicionamento deste Trabalho

A área de neurociência em decisão, mesmo sendo consideravelmente recente, tem obtido um progresso considerável. Os diversos achados servem, assim, para apoiar o desenvolvimento de sistemas e modelos de apoio a decisão, bem como, gerar a compreensão dos mecanismos subjacentes a tais processos. Os resultados obtidos direcionam também novas pesquisas permitindo o progresso contínuo da área e é nesse sentido que o presente trabalho é realizado. Entretanto, observa-se que as pesquisas na linha de decisão multicritério são em número relativamente baixo, voltando-se para problemas mais simples de decisão, além dos estudos abordarem questões mais abrangentes, valoração de modo geral, por exemplo, e não métodos e técnicas já conhecidas na área, salvo algumas exceções de trabalhos. No presente estudo, contudo, é avaliado um procedimento de elicitación de preferências específico, o FITradeoff, fazendo uso de equipamentos de neurociência. Outro diferencial deste trabalho é a forma como foi construído o experimento que contou com problemas de decisão desenvolvidos pelos próprios participantes, trazendo maior realidade ao processo. Soma-se a isso o fato de ter sido usado um sistema de apoio a decisão real, de modo que os resultados alcançados aqui servem para o aperfeiçoamento do mesmo, gerando,

então, resultados mais concretos para a sociedade. Dessa forma, até onde se têm conhecimento, o presente trabalho se difere dos demais, apresentando consigo potencial de gerar melhorias ao sistema de apoio a decisão baseado no uso do FITradeoff, bem como ao próprio procedimento de elicitação.

3 EXPERIMENTOS DE NEUROCIÊNCIAS EM DECISÃO COM FITRADEOFF

Neste capítulo, são apresentados os aspectos cognitivos identificados no processo de elicitación de preferências com o uso do método FITradeoff para problemas de decisão no contexto de MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*). Assim, discute-se a importância da elicitación de preferências na construção de modelos de decisão multicritério, apresentando as vantagens do método FITradeoff. São apresentadas também as contribuições que estudos comportamentais podem oferecer para avaliar tal método, justificando o trabalho desenvolvido. Este capítulo traz ainda a descrição do experimento realizado nesse estudo, identificando a amostra, equipamentos e softwares utilizados, bem como, os tipos de pré-processamento e análise de dados realizados. Por fim, apresenta-se os resultados identificados, bem como, a discussão dos mesmos, lançando hipóteses acerca do método FITradeoff.

3.1 O Método FITradeoff e Estudos Comportamentais para Elicitación de Preferências

Durante a construção de modelos de decisão multicritério, em especial os aditivos, uma etapa importante é a definição das constantes de escala dos critérios do problema. Vários métodos têm sido propostos para elicitación de preferências e definição dessas constantes, como já discutido anteriormente na seção 2.1.1. O processo de elicitación de preferências e definição das constantes se configura, entretanto, como algo complexo e que pode demandar tempo e informações que não estejam disponíveis para o decisor (SALO; PUNKA, 2005; BELTON; STEWART, 2002). A má definição das constantes, assim, pode incorrer em inconsistência nos resultados, tornando os modelos desenvolvidos inadequados.

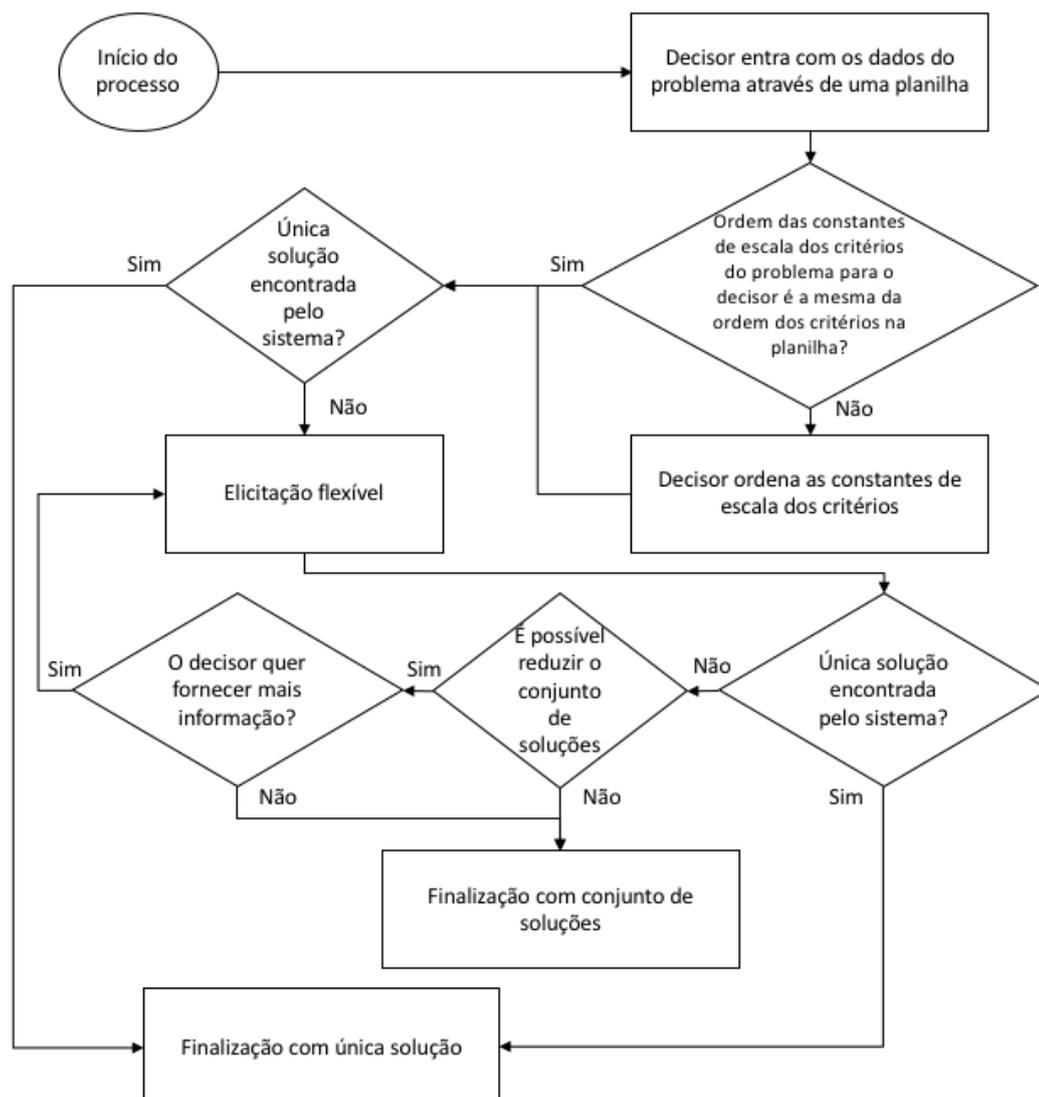
A identificação dos aspectos que influenciam o julgamento das constantes e a geração de inconsistências tem sido foco de estudos comportamentais, como é o caso do trabalho de Weber e Borchering (1993). A identificação do nível de esforço cognitivo e estresse se torna de grande utilidade na avaliação dos métodos de elicitación, visto que tais fatores podem prejudicar os resultados obtidos, tornando-os não confiáveis (WEBER; BORCHERING, 1993).

No sentido de tornar o processo de elicitación mais fácil e válido, o FITradeoff usa uma abordagem interativa, com uso de informação parcial de preferência do decisor e se baseia no Tradeoff que possui forte estrutura axiomática (DE ALMEIDA et al., 2016). Portanto, não é exigido do decisor muitas perguntas, bem como, pontos de indiferença para a definição das constantes de escala, sendo um método de baixa exigência de esforço cognitivo.

Nesse sentido, o FITradeoff apresenta vantagens frente a outros métodos, tomando a experiência com o decisor bem sucedida e permitindo a redução da taxa de inconsistências. Essa última está associada à complexidade demandada do decisor no processo, chegando a 67% no Tradeoff conforme estudo de Weber e Borcherding (1993).

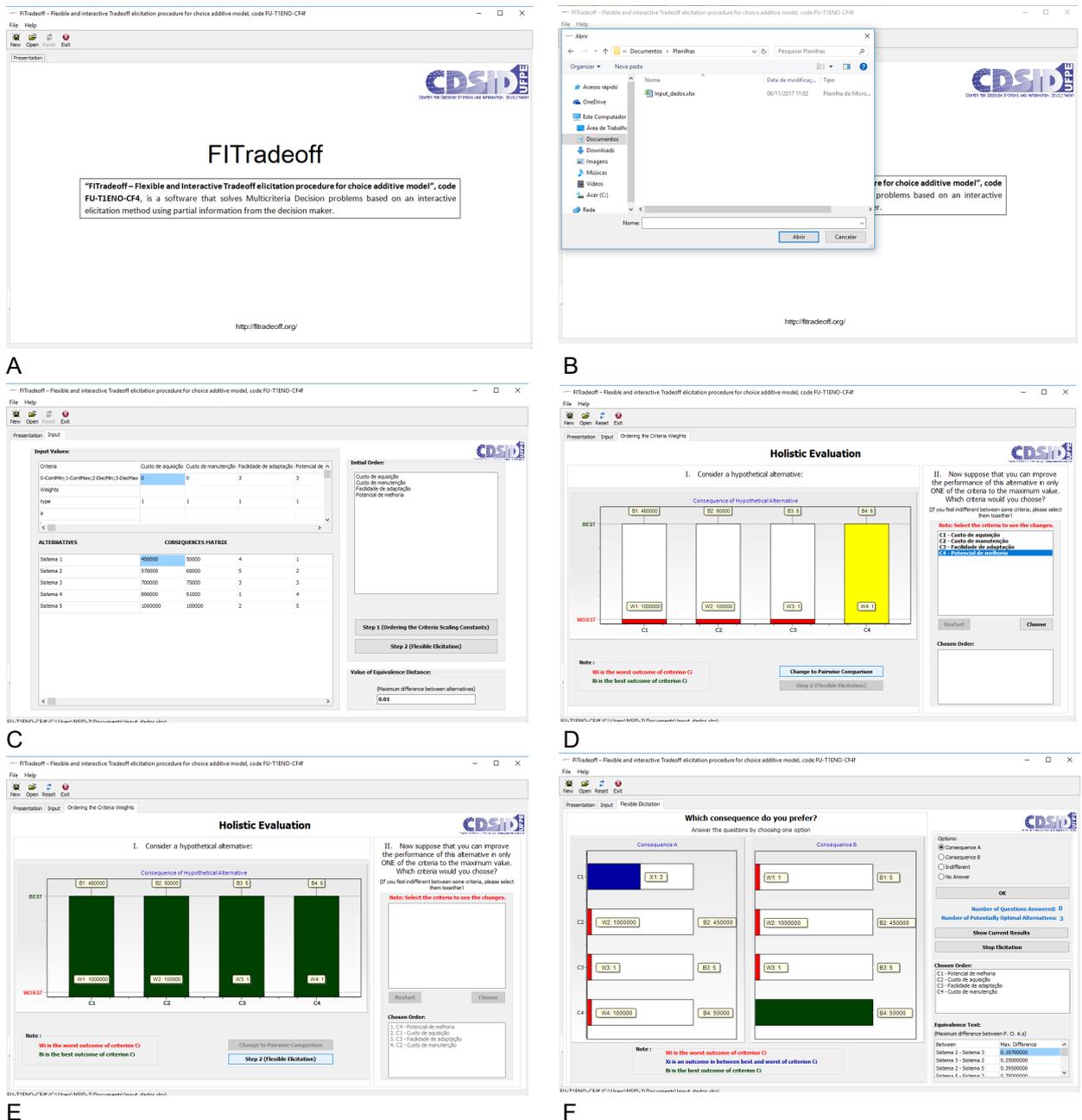
A experiência com o FITradeoff começa com a inserção dos dados do problema no sistema de apoio a decisão, tais como, critérios do problema, alternativas de escolha e seu desempenho nos critérios, através de uma planilha. Um modelo dessa planilha é disponibilizado para o usuário pelo sistema, bem como um manual com instruções sobre como preenchê-la e usar o sistema. A partir de então, tem-se início o processo de elicitación das preferências do decisor. A Figura 3.1, apresentada a seguir, demonstra o processo do usuário com o sistema que pode ser dividido em quatro principais etapas: inserção dos dados do problema; ordenação das constantes de escala dos critérios; elicitación flexível; e avaliação da recomendação. Por sua vez, a Figura 2 mostra exemplos de telas do sistema.

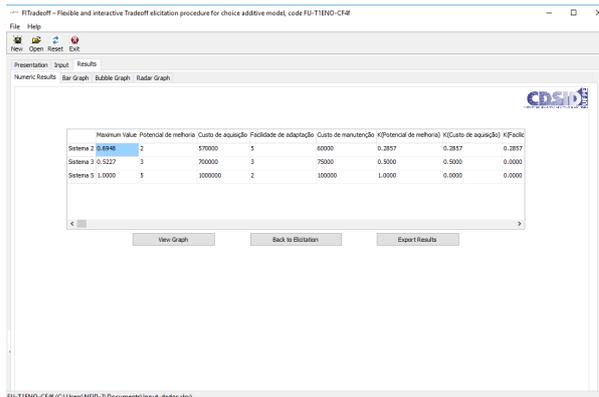
Figura 2 - Processo do sistema de apoio a decisão com uso do FITradeoff.



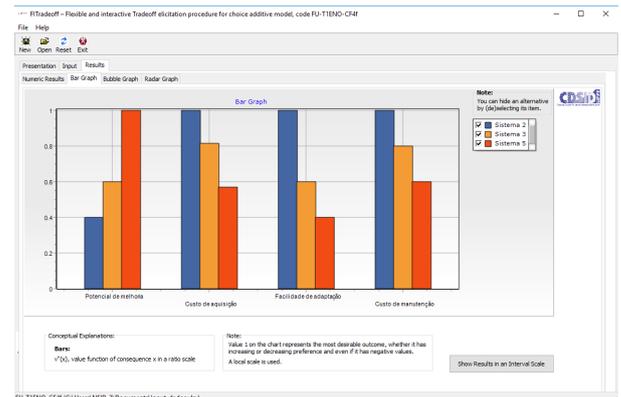
Conforme pode-se constatar pela Figura 2, a depender das características do problema, a recomendação de solução pode vir a partir da simples determinação da ordem dos critérios como pode exigir várias rodadas de perguntas na etapa de elicitación flexível. Além disso, nem sempre uma única recomendação pode ser obtida, mas um conjunto delas, bem como, o usuário pode interromper o processo assim que se achar satisfeito com o conjunto oferecido pelo sistema. Nos experimentos realizados, entretanto, todas as recomendações ofereceram apenas uma alternativa como solução para o problema, bem como essa veio após a etapa de elicitación flexível com a comparação para a par de alternativas hipotéticas.

Figura 3 - Telas do sistema de apoio a decisão com uso do FITtradeoff.

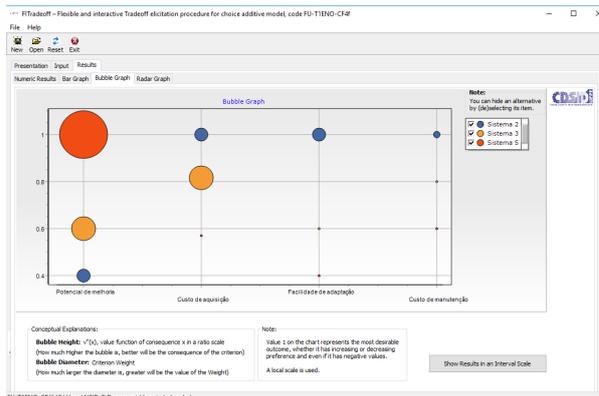




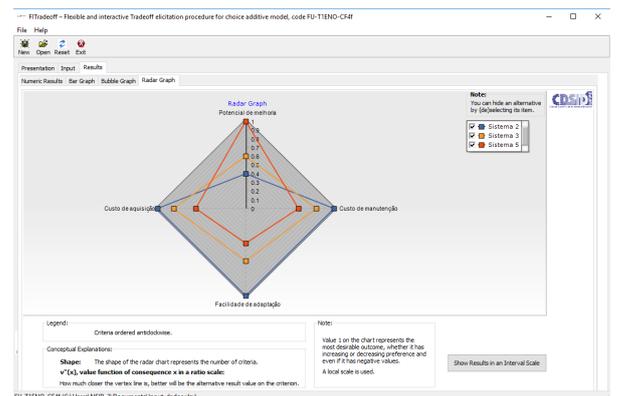
G



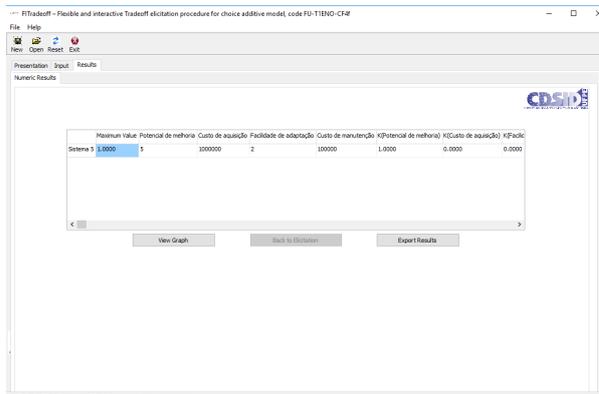
H



I



J



K

Fonte: SAD FITradeoff (2015).

A Figura 3 mostra: (A) mostra a tela inicial do sistema, (B) a entrada da planilha com os dados do problema e (C) é a tela de apresentação dos dados. Por sua vez, (D) e (E) são as telas da etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios. Em F, tem-se a tela da etapa de elicitação flexível onde ocorre a comparação par a par de alternativas hipotéticas, variando o desempenho destas nos critérios do problema. A tela em (G) representa a recomendação de um conjunto de soluções do problema, enquanto que em (H), (I) e (J) têm-se as representações gráficas das soluções. Essas três últimas só estão disponíveis quando uma única solução não é encontrada e serve para apoiar o decisor a escolher uma opção, caso seja seu interesse. Por fim, em (K) é representado a tela do sistema com única solução recomendada.

Assim, a fim de identificar os aspectos cognitivos na experiência do uso do FITradeoff e gerar resultados mais precisos, o presente estudo fez uso de ferramentas de neurociência. O mesmo se enquadra na linha de pesquisa denominada neurociência em decisão e que têm se destacado ao longo dos últimos anos, cujos resultados têm gerado *insights* relevantes para a construção de métodos, modelos e sistemas voltados para o apoio a decisão (ADAM et al., 2017; HU; WEST; SMARANDESCU, 2015; KHUSHABA et al., 2013). Os resultados obtidos com tais ferramentas são extremamente adequados para esta pesquisa, uma vez que reduzem os vieses que os dados obtidos com questionários, por exemplo, podem apresentar. Isso se dá devido ao fato de que a coleta se dá diretamente no cérebro ou através de índices fisiológicos sob os quais o ser humano não pode exercer controle no sentido de alterar os resultados. Nesta pesquisa, portanto, uma abordagem que integra dados de atividade cerebral e dilatação da pupila dos participantes foi utilizada para a realização de um estudo exploratório e levantamento de hipóteses acerca dos aspectos cognitivos presentes no processo de elicitación flexível.

3.2 Desenho do Experimento de Neurociências em decisão para Elicitación de Preferências

Para a consecução dos objetivos do presente trabalho, uma série de experimentos foram realizados no laboratório NSID (*NeuroScience for Information and Decision*) da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco). Os valores de dilatação da pupila e de atividade elétrica do cérebro serviram de *inputs* para a busca de comportamentos e para a inferência de hipóteses.

3.2.1 Participantes

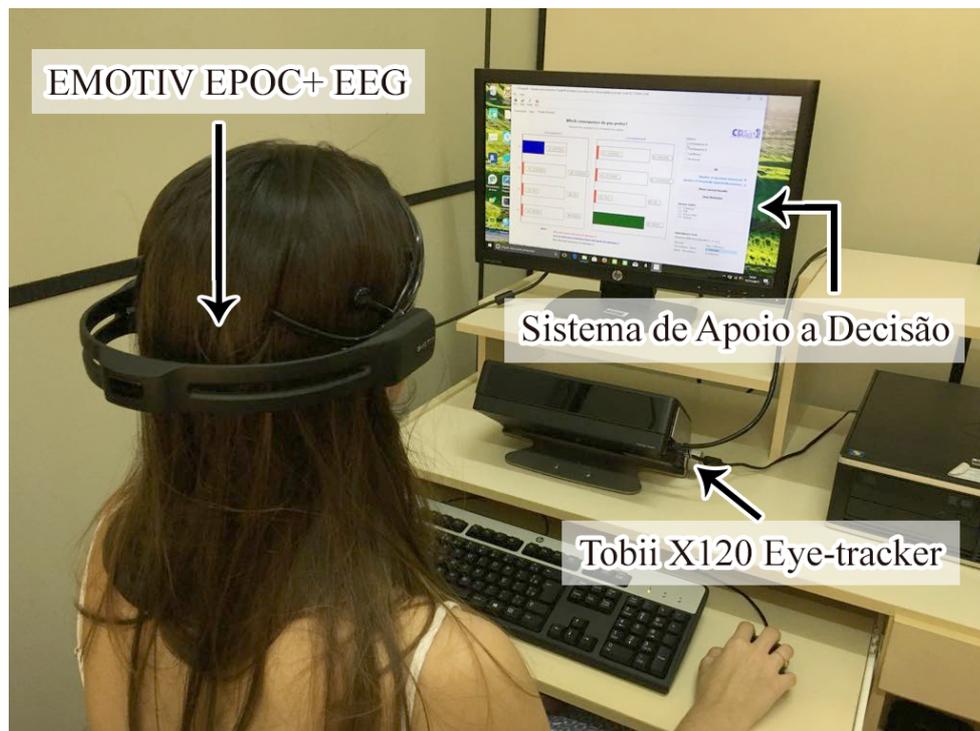
A amostra do experimento contou com a participação de dezesseis alunos de mestrado em engenharia de produção pela UFPE, sendo aproveitados para esse estudo os dados de dez. Desses, três eram homens e sete mulheres. A diferença na proporção, no entanto, não representa um problema, uma vez que se trata de um estudo exploratório onde se busca identificar padrões que norteiem pesquisas futuras com a aplicação de testes de hipótese, por exemplo. A faixa de idade dos mesmos, por sua vez, variou entre 23 e 35 anos.

Nenhum dos participantes apresentou problemas de visão que compromettesse a execução do experimento, bem como ter tomado algum medicamento nas últimas 24 horas que antecederam a realização do experimento. Todos assinaram um termo de consentimento aprovado pelo Comitê de Ética da UFPE e foram instruídos acerca do experimento antes do seu início.

3.2.2 Descrição da tarefa e preparação

A realização do experimento consistiu da aplicação de um sistema de apoio a decisão com uso do método FITradeoff no qual os participantes inseriram problemas de decisão multicritério desenvolvidos por cada um e cujos dados foram enviados previamente. Uma planilha com tais dados serviu de *input* para o sistema e, a partir de então, cada participante navegou pelo sistema até que um conjunto de soluções satisfatório fosse encontrado conforme mostrado na Figura 4, foto obtida com autorização do participante.

Figura 4 - Experimento realizado neste trabalho.



Fonte: Esta pesquisa (2017).

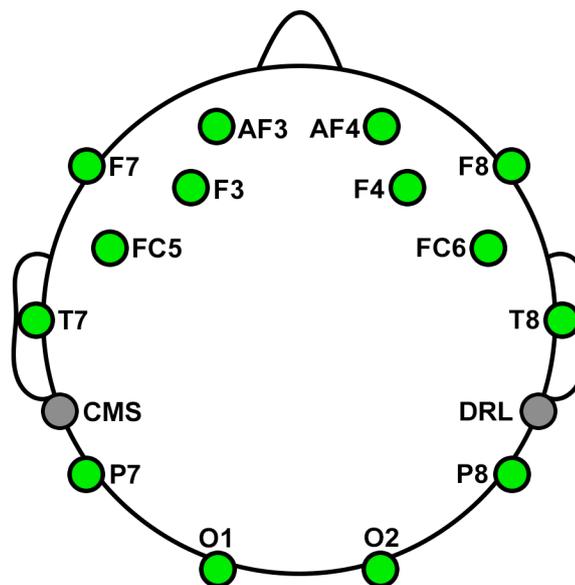
Antes, contudo, foi realizada uma preparação. Essa consistiu da montagem e calibração dos equipamentos, inicialização dos softwares, instrução dos participantes, ajustes daqueles equipamentos que foram colocados nos participantes, e coleta de assinatura para participação da pesquisa. Assim, a preparação durou cerca de 15 minutos para que então o experimento pudesse começar. A lista dos softwares e equipamentos, bem como a descrição dos mesmos, entretanto, são apresentadas na seção 3.2.3.

3.2.3 Equipamentos e softwares para coleta, processamento e análise de dados

A coleta de dados da atividade elétrica do cérebro, e mais especificamente, sobre o potencial das bandas alfa e beta se deu com o uso do EMOTIV EPOC+ (<www.emotiv.com>), um EEG *wireless* de 14 canais de alta resolução projetado para aplicações de BCI (Brain Control Interface). Nele, os eletrodos são localizados nas posições AF3, F7, F3, FC5, T7, P7,

O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 de acordo com o sistema internacional 10-20 conforme Figura 3.4. Há ainda dois eletrodos localizados acima dos ouvidos (CMS e DRL) e que funcionam como referência para o EEG, servindo para cancelamento de ruídos nas posições P3/P4. Cada eletrodo é coberto por uma almofada de feltro que deve ser molhada com uma solução salina para a captura dos dados. A Figura 5 traz a representação da posição dos eletrodos no EMOTIV EPOC+ enquanto que a Tabela 3.1 mostra as regiões associadas as mesmas. Os dados são coletados aqui a uma taxa de amostragem interna de 2048 Hz, mas convertidos para 128Hz por canal e enviados para um computador via Bluetooth usando, para isso, um USB proprietário. O registro se deu através do software OpenVibe Writer, enquanto que o pré-processamento foi realizado no EEGLAB, uma ferramenta do software MATLAB (Matrix Laboratory). No EEGLAB, os artefatos oriundos de movimentos da cabeça, movimentos oculares e piscadas, além de interferências do ambiente foram corrigidos. Após isso, os dados foram exportados para uma planilha e analisados através do *software* Microsoft Excel.

Figura 5 - Localização dos 14 canais do Emotiv Epoc+ e dos canais de referência.



Fonte: Esta pesquisa (2017).

Tabela 1 - Localização dos canais do Emotiv Epoc+ e regiões cerebrais.

Posições dos eletrodos no EEG	Regiões cerebrais
AF3, AF4	Frontal Anterior
F3, F4, F7, F8	Frontal
FC5, FC6	Frontal Central
T7, T8	Temporal
P7, P8	Parietal
O1, O2	Occipital

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Quanto aos dados de dilatação da pupila, esses foram obtidos através do Tobii X120 Eye-tracker (<www.tobii.com>), um equipamento de rastreamento ocular autônomo útil para o uso com telas de notebooks, computadores, tablets e televisores, como também projeções, objetos físicos ou uma cena real. Para o rastreamento ocular, o mesmo usa diodos infravermelhos, gerando padrões de reação nas córneas dos olhos do usuário. Tais padrões de reação em adição a outras informações visuais sobre a pessoa, são, então, coletados por sensores de imagem, e algoritmos sofisticados de processamento de imagem identificam características relevantes, incluindo os olhos e os padrões de reação da córnea. A precisão do Tobii X120 é de 0,5° com taxa de amostragem de 120 Hz e captura olhar em ângulos de até 35°. Os dados oculares bem como de cliques em *mouse* e teclado foram registrados no *software* Tobii Studio, utilizado para o desenho e apresentação do experimento em questão, mas que também permite a análise dos dados. Esses, entretanto, foram exportados através de uma planilha e analisados no Microsoft Excel.

Antes de se iniciar o experimento, foram realizadas a calibração do rastreador de olho, a fim de assegurar melhor precisão na coleta dos dados oculares, bem como, o ajuste dos eletrodos do EEG nos participantes, contando com o auxílio do *software* Emotive Xavier. A apresentação do experimento se deu através de um monitor LCD de 48 cm de largura por 26,9 cm de altura e resolução de 1280x1024 pixels conectado a um notebook de 64 bits rodando Windows 10 com 4GB de memória RAM. Ao notebook, também estavam conectados o rastreador de olho, o USB proprietário do EEG e instalados os softwares descritos anteriormente.

3.2.4 Análise estatística

Em função do tamanho da amostra e propósito do trabalho, a análise estatística dos dados considerou medidas de média e correlação de postos de Spearman, como também gráficos a fim de identificar relações e inferir hipóteses. A escolha do teste de correlação de Spearman se deu em função de sua adequação para situações em que não se pode assumir distribuição de normalidade bivariada e a mensuração não é feita no mínimo em escala intervalar, como ocorre nos dados aqui. Apesar disso, o coeficiente de correlação por postos de Spearman apresenta eficiência de cerca de 91% com relação ao coeficiente de correlação de Pearson, a prova paramétrica de correlação mais poderosa (HOTELLING; PABST, 1936). Mesmo assim, o propósito do uso dessa estatística não foi para testar hipóteses, apenas trazer mais informações acerca dos dados obtidos.

Todas as análises foram feitas com os dados referentes à duração das subetapas do experimento, dilatação da pupila direita e potência das bandas alfa e beta ao longo dos 14 canais do EEG para cada participante. Vale ressaltar que a análise de apenas uma pupila se deu pelo fato de que o comportamento em ambas é simétrico, tornando desnecessária a

análise múltipla. A escolha da pupila direita foi aleatória. A seção 3.3 apresenta os resultados obtidos.

3.3 Resultados do Experimento

Nesta parte do estudo, foram consideradas apenas as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios dos problemas, as de elicitación flexível e a de apresentação e avaliação da recomendação do sistema de apoio a decisão, desprezando a de entrada dos dados do problema. Tais etapas foram escolhidas por estarem diretamente relacionadas ao processo de elicitación de preferências, foco do trabalho.

Cada etapa contou com um número próprio de subetapas nas quais foram medidos tanto os valores de dilatação da pupila direita e esquerda, posição dos olhos, número de sacadas, número e duração das fixações com o rastreador ocular quanto a atividade elétrica cerebral nos 14 canais do EEG. Para as análises aqui, entretanto, consideraram-se apenas as medidas de dilatação da pupila direita e as de potência das bandas alfa (8-12Hz) e beta (13-30Hz) nos canais.

3.3.1 Características dos experimentos

Nos experimentos, o número de subetapas dos problemas dos participantes variou entre 6 e 16. Dessas, a etapa de ordenação contou com um número de subetapas que esteve entre 3 a 6. Na etapa de elicitación flexível, por sua vez, esse valor ficou no intervalo de 1 a 9. Já a etapa de apresentação do resultado e avaliação da recomendação em todos os casos só teve uma subetapa. Quanto à duração total dos experimentos, esse valor esteve entre 88 e 232 segundos. Esses valores juntamente com a duração total dos experimentos que foram relativamente baixos, evidenciaram a praticidade e eficiência do procedimento que não só demanda poucas questões como pouco tempo até ser dada uma recomendação.

A variação desses valores se deu em função das características dos problemas de cada participante que pode apresentar um número alto de critérios e/ou de alternativas, ou o contrário. Nos problemas tratados, o número de critérios esteve entre 4 e 7, enquanto que o número de alternativas foi de 3 a 22. Aparentemente, não há uma correlação entre a duração dos experimentos e o tipo de problema ou número de alternativas. Há, porém, em relação ao número de critérios. Isso porque no sistema de apoio a decisão, o número de subetapas na ordenação das constantes de escala é sempre igual ao número de critérios do problema multicritério em questão menos um, enquanto que o número de subetapas na elicitación flexível varia em função das informações fornecidas pelo participante nas subetapas precedentes. Além disso, quanto mais critérios em questão, a complexidade tende a crescer visto a existência de mais considerações a serem feitas quanto ao desempenho de alternativas hipotéticas apresentadas par a par, demandando, de modo geral, mais tempo. O

mesmo não é válido para o número de alternativas, visto que de acordo com o exposto anteriormente, durante cada subetapa da elicitaco flexível, apenas duas alternativas são mostradas, buscando informações sobre a preferência do decisor.

A respeito dos tipos de problema tratados, todos foram de seleção, que se caracteriza pela busca um conjunto reduzido de alternativas como recomendação, podendo ser de apenas uma. Nos experimentos deste estudo, em três casos, o problema foi voltado para seleção de fornecedor, para outros três, seleção de localização, para dois, seleção de projeto, e para um, seleção de investimento financeiro.

A Tabela 2 apresenta os dados e demonstra o quão variaram os experimentos.

Tabela 2 - Tipo de problema, número de alternativas, de critérios, número total de subetapas, de subetapas dentro de cada etapa e duração total do experimento em segundos para todos os participantes.

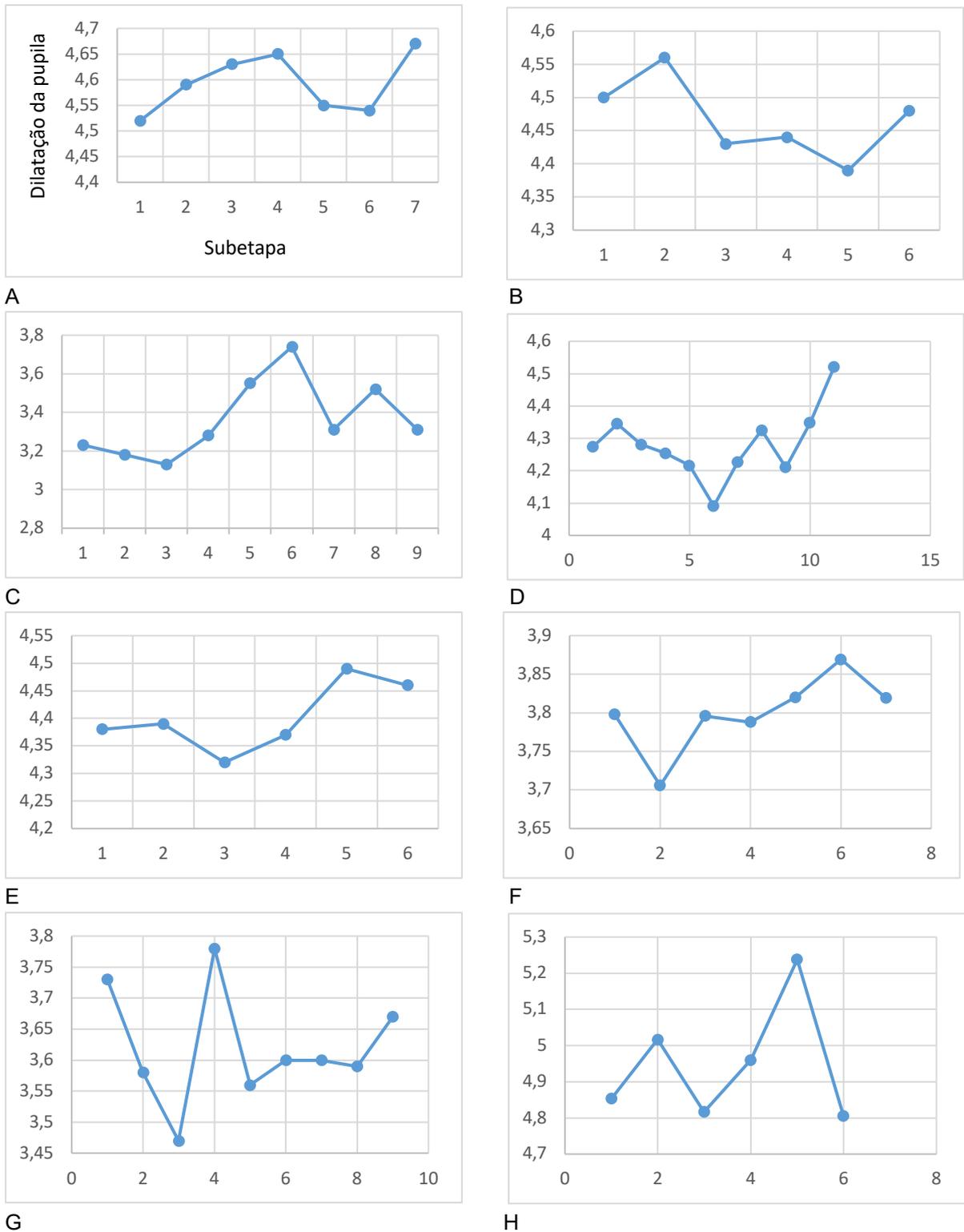
Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo de problema (Seleção de:)	Projeto	Projeto	Localização	Fornecedor	Projeto	Fornecedor	Localização	Localização	Fornecedor	Investimento Financeiro
N de alternativas	4	9	5	6	22	3	9	4	5	15
N de critérios	4	5	7	7	4	4	4	4	7	4
N total de subetapas	7	6	9	11	6	7	9	6	16	9
N de subetapas para ordenação das constantes de escala	3	4	6	6	3	3	3	3	6	3
N de subetapas na elicitaco flexível	3	1	2	4	2	3	5	2	9	5
N de subetapas para avaliação da recomendação	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duração do experimento (s)	139	88	92	170	88	158	148	90	232	177

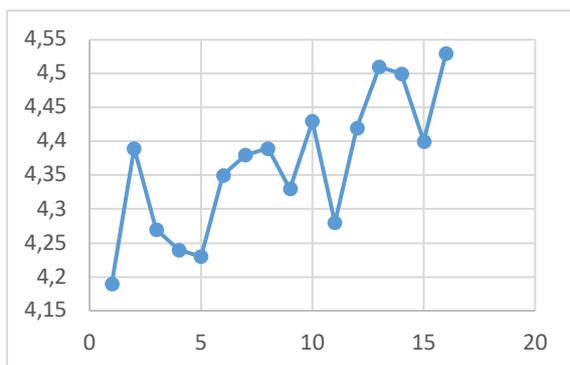
Fonte: Esta pesquisa (2017).

3.3.2 Análise da dilatação da pupila

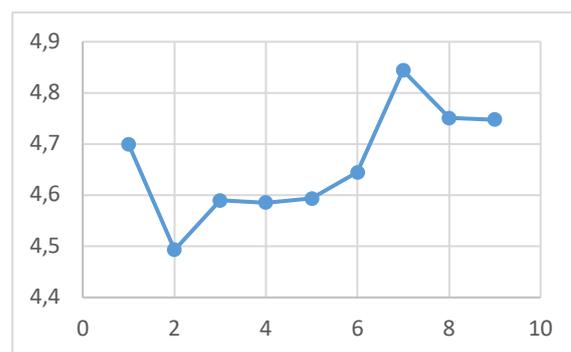
A análise seguinte considerou a média dos valores de dilatação da pupila direita, dada em milímetros e que representa o valor do diâmetro da mesma, em função do número de subetapas total, conforme mostrado na Figura 6 para os dez participantes. Essa última variável consta no eixo x, enquanto que a dilatação da pupila, no eixo y dos gráficos a seguir. A ordem de apresentação é a mesma da Tabela 2.

Figura 6 - Valores médios da dilatação da pupila em função do número de subetapas para todos os participantes.





I



J

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Conforme se pode observar, parece não haver uma correlação entre a dilatação da pupila e as variáveis independentes aqui consideradas. Entretanto, observa-se que o comportamento da pupila pareceu ser similar em alguns casos, diferindo fortemente em outros. Uma similaridade é o fato de que a dilatação da pupila parece apresentar um crescimento ao longo das últimas subetapas, sendo que em A, B, D, G e I o maior valor dentro deste comportamento ocorre na etapa de avaliação da recomendação do sistema. Por sua vez, em E, F e H, o mesmo ocorre na penúltima subetapa, ou seja, na última pergunta da etapa de elicitación flexível. Em J, por sua vez, a observação é na antepenúltima subetapa, e em C, na quinta e penúltima subetapa. Tais diferenças, no entanto, não estão relacionadas ao número total de subetapas, conforme se observa em B e em H que, apesar de terem 6 subetapas totais, tiveram comportamentos diferentes, nem à duração total do experimento cujos exemplos são F e G com cerca de 160 segundos. Também não parece haver relação com o tipo de problema, já que em C, G e H, ambos problemas trataram da seleção de localização, mas os comportamentos foram dissonantes. Nem com relação ao número de critérios, a exemplo de A, E e J que apresentaram comportamentos diferentes, ou de alternativas, como em C e I que também diferiram entre si no comportamento.

Outra observação trata da queda da dilatação da pupila que em A, B e C ocorreu de maneira significativa justamente na primeira subetapa da elicitación flexível. Para D, E, G e H, entretanto, isso ocorreu na última subetapa da ordenação das constantes de escala do problema. Já no caso de F, há uma queda na primeira subetapa da elicitación flexível também, aqui, contudo, a mesma foi precedida por uma queda maior durante a etapa de ordenação, mais especificamente, na segunda subetapa. Quanto a J, observa-se um leve queda na primeira subetapa da elicitación flexível, contudo, precedida por uma queda maior na penúltima subetapa de ordenação. Por fim, em I, a maior queda ocorre na antepenúltima subetapa de ordenação. Apesar dessas diferenças, as similaridades sugerem, então, que entre o fim da primeira etapa e início da segunda, há uma queda da dilatação da pupila, sendo tal medida comumente associada a níveis de atenção e esforço dispendido (KAHNEMAN, 1973; QIYUAN et al., 1985).

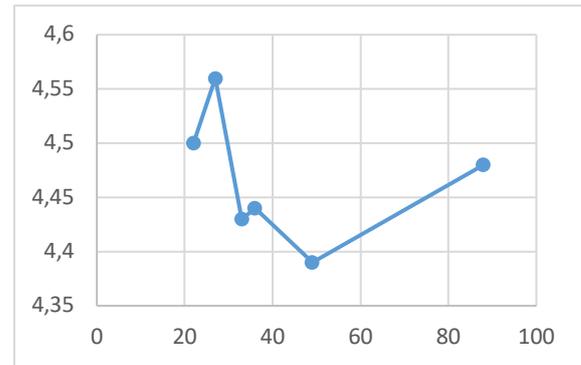
Todas as variações observadas podem ser explicadas pela própria diferença entre os problemas de decisão e o perfil de preferências dos decisores. Em outras palavras, critérios para os quais tenha havido indiferença, ou a diferença de preferência tenha sido baixa podem ter levado às variações observadas. O mesmo vale para a etapa de elicitación flexível onde há comparação para a par de alternativas hipotéticas por parte do decisor. Isso porque, a depender do tipo de problema e perfil de preferências, níveis maiores de atenção podem ser demandados em momentos distintos.

Outra análise feita considerou a relação da dilatação da pupila (eixo y) com a duração total dos experimentos (eixo x) em segundos a fim de identificar alguma possível correlação significativa entre as variáveis. Os dados são, portanto, apresentados nos gráficos da Figura 7 a seguir.

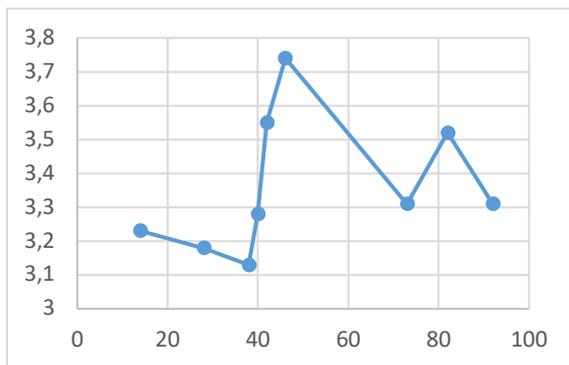
Figura 7 - Valores médios da dilatação da pupila em função da duração do experimento para todos os participantes.



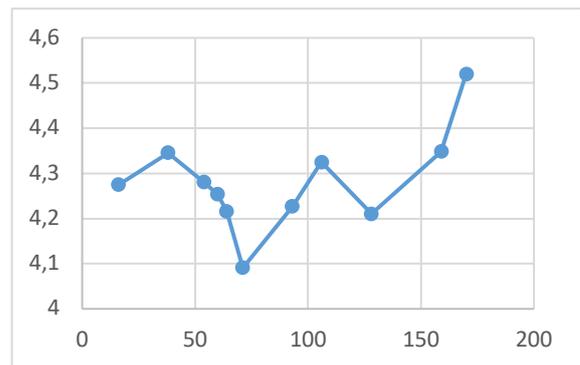
A



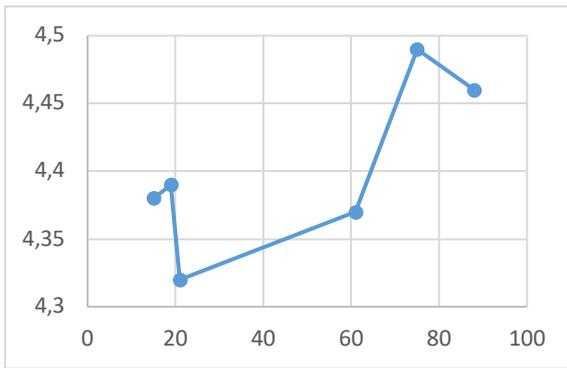
B



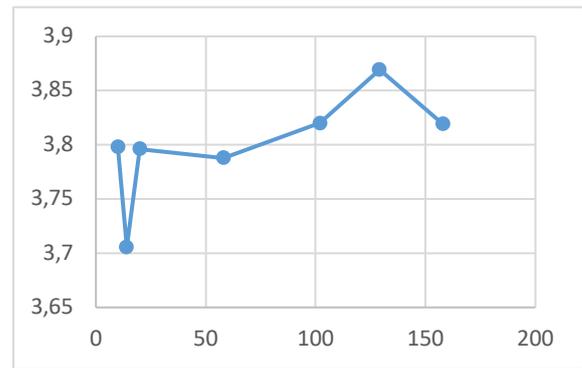
C



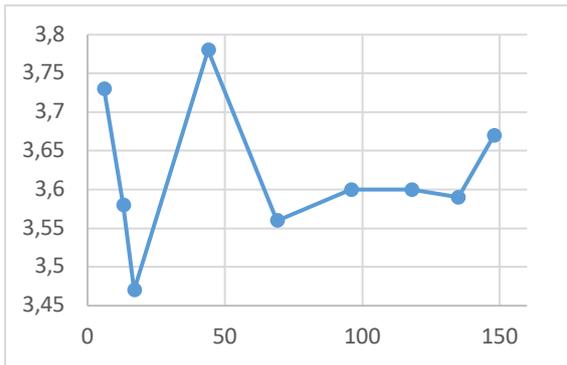
D



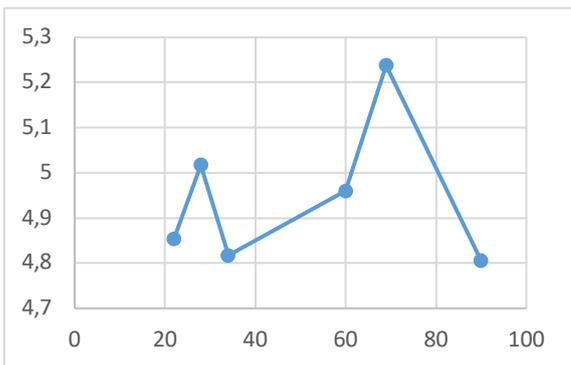
E



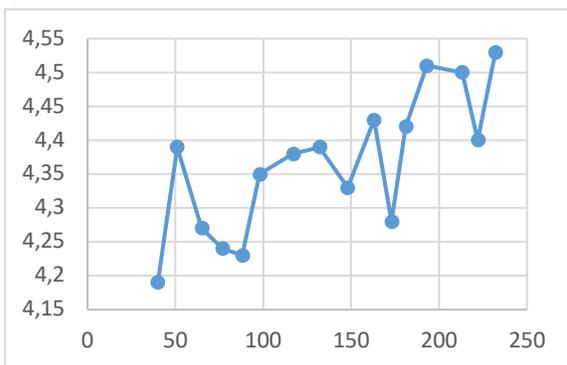
F



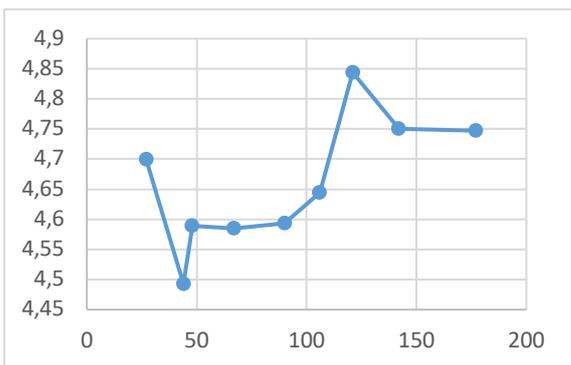
E



F



G

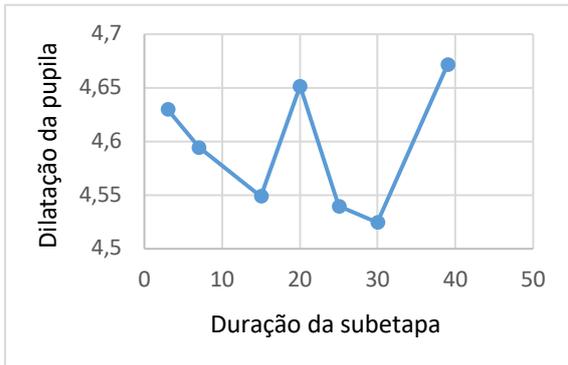


H

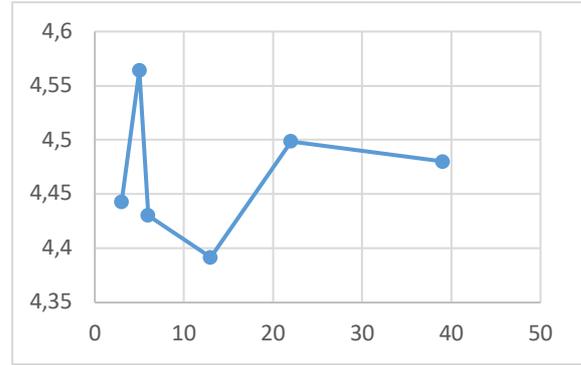
Fonte: Esta pesquisa (2017).

Os dados apresentam semelhança aos observados na análise anterior, no que se refere aos picos e variações. Aqui, entretanto, eles parecem estar menos correlacionados. Diante disso, buscou-se uma nova avaliação, considerando a relação da dilatação da pupila (eixo y) com a duração de cada subetapa (eixo x), em segundos, para os participantes. Os gráficos para essa nova análise são apresentados na Figura 8.

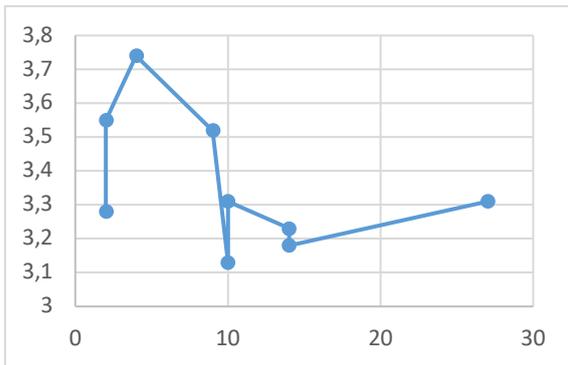
Figura 8 - Valores médios da dilatação da pupila em função da duração das subetapas para todos os participantes.



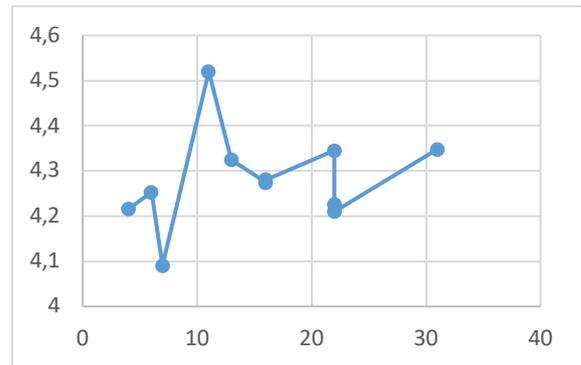
A



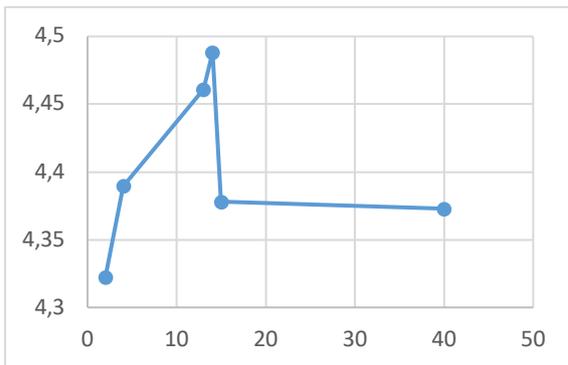
B



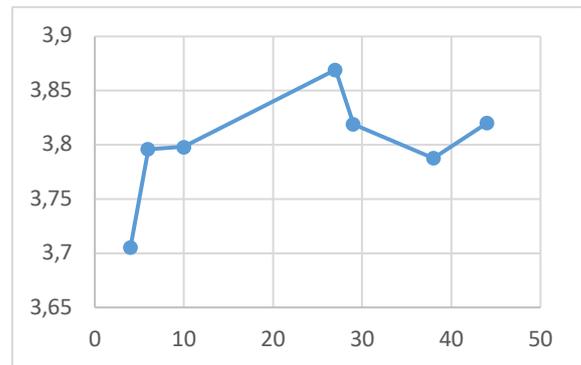
C



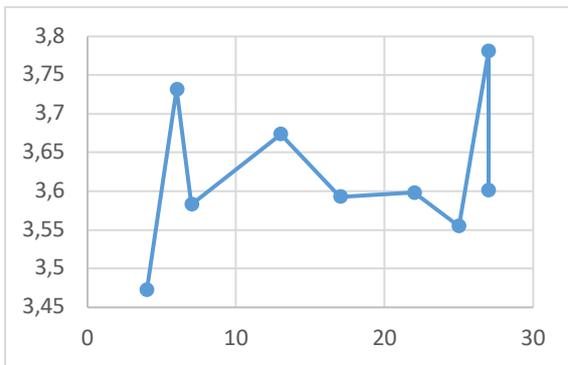
D



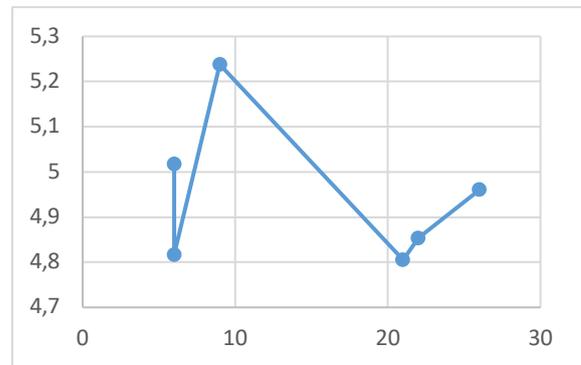
E



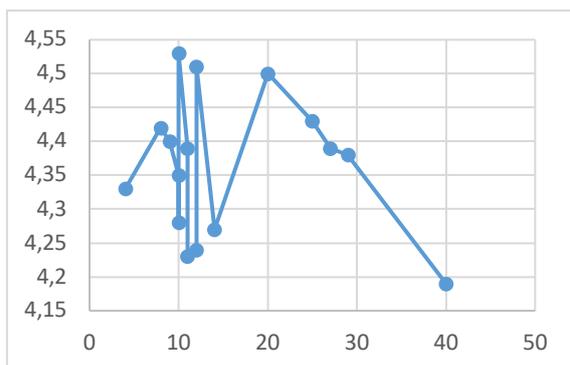
F



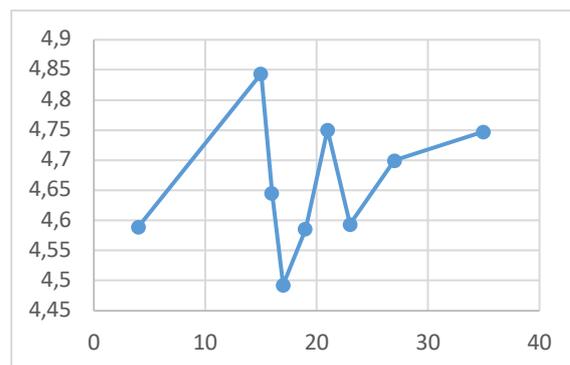
G



H



I



J

Fonte: Esta pesquisa (2017).

A análise aqui sugere menor correlação ainda das variáveis consideradas. O comportamento diferiu fortemente de um experimento para o outro, indicando a não existência de um padrão.

De posse de todos esses dados, calcularam-se os valores da correlação de Spearman para as três análises anteriores a fim de obter mais informações. Os dados são apresentados a seguir na Tabela 3.

Tabela 3 - Correlação de Spearman para dilatação da pupila em função do número de subetapas, duração do experimento e duração das subetapas para todos os participantes.

Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Dilatação da pupila x Nº de subetapas	0,356	-0,535	0,403	0,329	0,642	0,647	-0,064	0,195	0,697	0,644
Dilatação de pupila x Duração do experimento	0,349	-0,208	0,265	0,468	0,756	0,683	-0,011	0,152	0,688	0,638
Dilatação de pupila x Duração das subetapas	0,021	0,102	-0,434	0,231	0,046	0,531	0,254	-0,355	-0,117	0,312

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Os resultados se mostram bastante diversificados, havendo em algumas situações correlação positiva significativa, bem como correlação negativa moderada e fraca correlação. Essa diversificação reforça a constatação de não haver influência entre as variáveis para todos os experimentos, a menos, alguns comportamentos pontuais nas duas primeiras análises como observado e discutido anteriormente.

Ainda considerando a dilatação da pupila, avaliou-se a variação dessa acima e abaixo do valor médio para cada participante e sua relação com o número total de subetapas dos

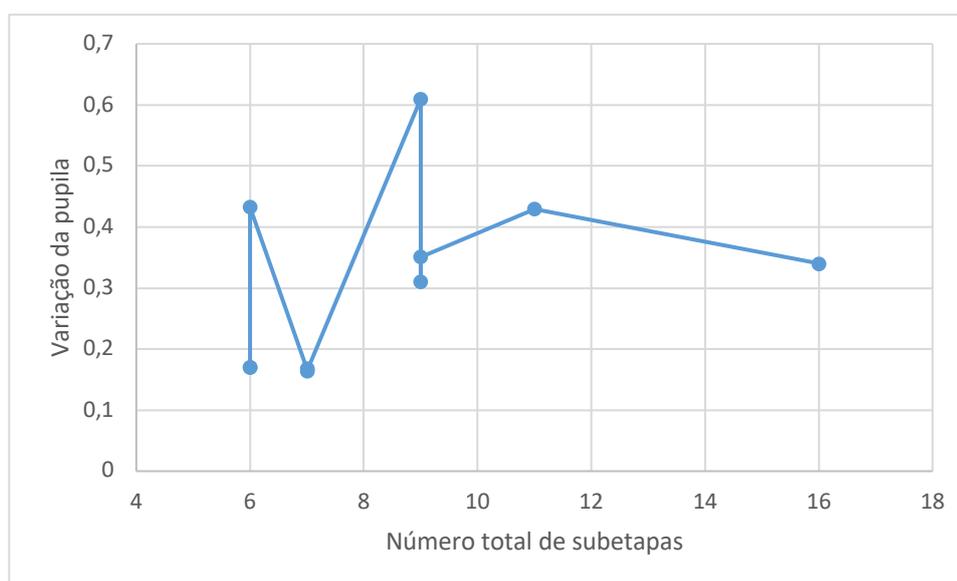
experimentos. Os dados são mostrados na Tabela 4, e a representação gráfica de uma variável em função da outra é mostrada na Figura 9.

Tabela 4 – Variação do valor médio de dilatação da pupila e número total de subetapas para todos os participantes.

Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nº total de subetapas	7	6	9	11	6	7	9	6	16	9
Variação da pupila	0,1682	0,17	0,61	0,4295	0,17	0,1636	0,31	0,4325	0,34	0,351

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Figura 9 - Variação do valor médio de dilatação da pupila em função do número total de subetapas.



Fonte: Esta pesquisa (2017).

Os dados mostram que o participante com a maior variação foi C, seguido de H, D, J, I e G. Com exceção de H, todos os demais tiveram os maiores números de subetapas totais. Tal diferença, entretanto, não parece estar relacionada ao tipo de problema tratado no experimento, podendo ser explicada, entretanto, em função do perfil de preferências do decisor. Por sua vez, A, B, E e F, contaram com variações bem menores, coincidindo com o baixo número de subetapas apresentadas nos experimentos desses. Os dados sugerem, assim, haver uma correlação positiva entre as variáveis consideradas. Isso fica mais fácil de perceber através da análise gráfica.

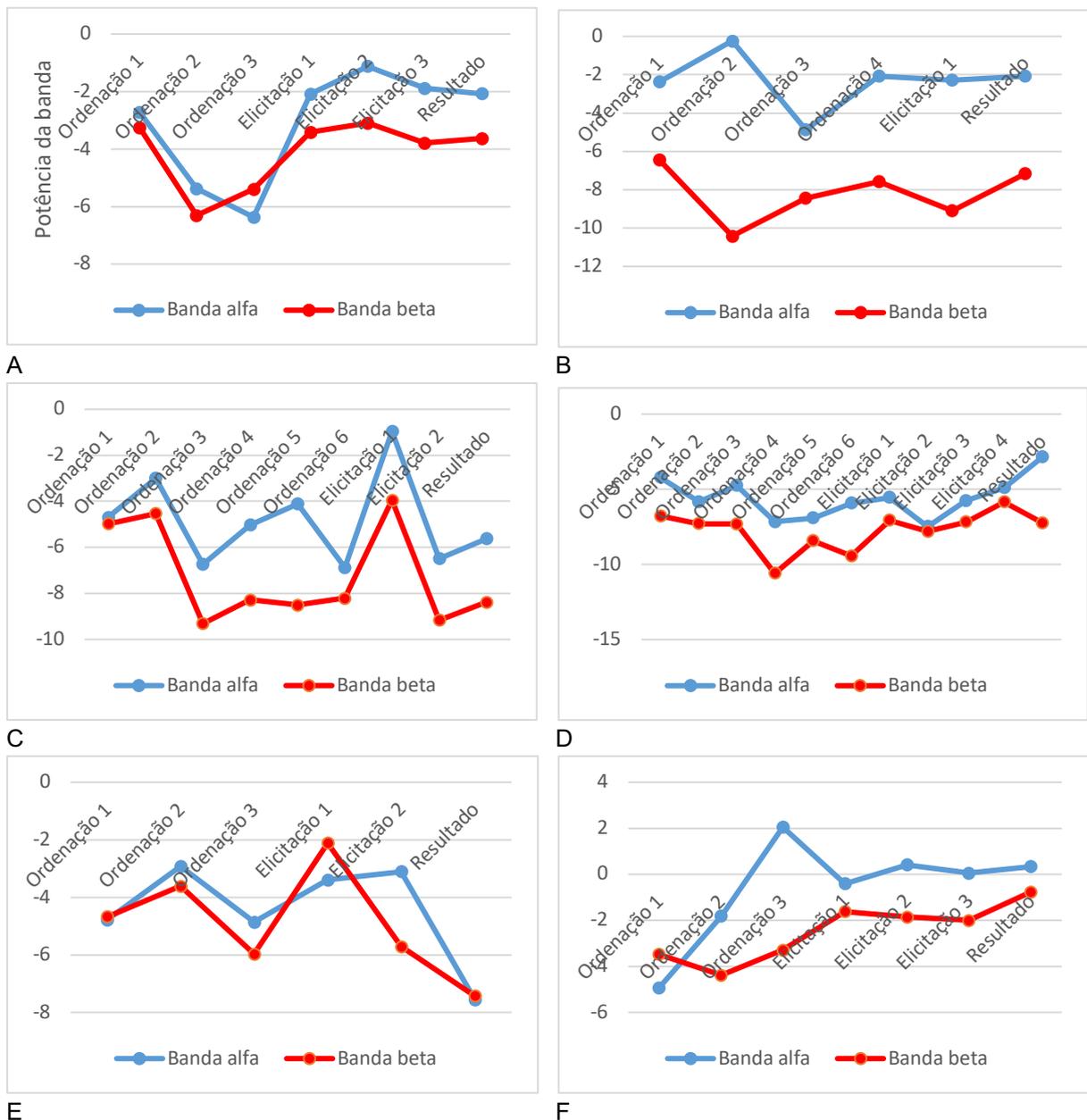
Mais uma vez, foi realizado o teste de correlação de Spearman a fim obter de uma informação mais confiável. O valor obtido, portanto, foi de 0,3648795 demonstrando a existência de uma correlação positiva fraca. Assim, parece razoável supor que a medida que o número de subetapas cresce, a variação da dilatação da pupila tende a aumentar, porém, fracamente.

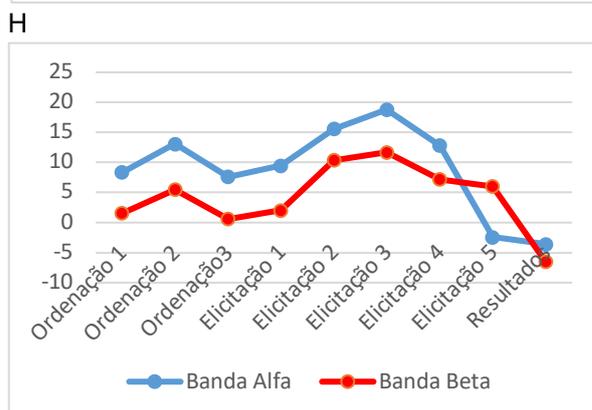
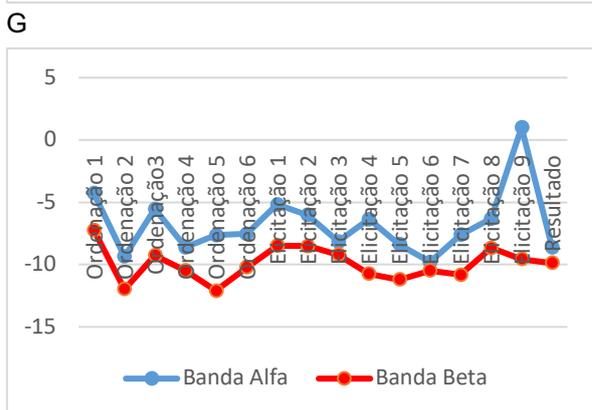
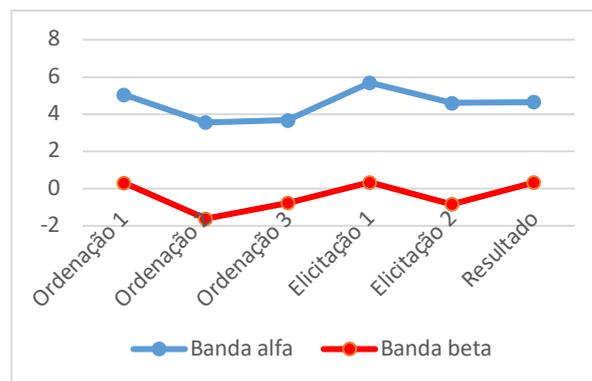
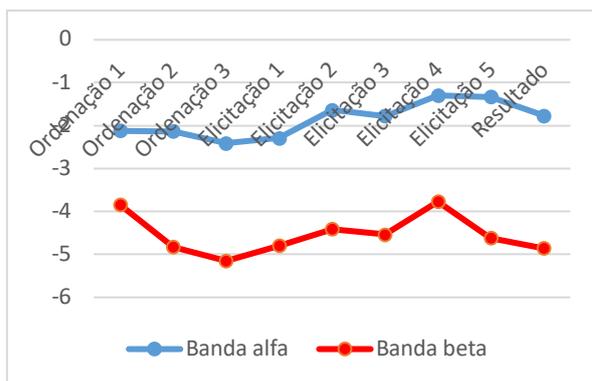
Entretanto, trata-se de uma hipótese que não pode ser confirmada aqui dado ao tamanho da amostra que é pequeno.

3.3.3 Análise da potência das bandas alfa e beta

Outra análise realizada considerou os valores médios da potência das bandas alfa e beta (eixo y) durante as subetapas (eixo x). A Figura 10 mostra os gráficos com o comportamento observado de tais variáveis para todos os participantes.

Figura 10 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta ao longo das subetapas para todos os participantes.





I

J

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Conforme se constatou, parece haver um padrão no comportamento dos dados relativos a potência das bandas. Uma atividade maior é identificada no início de cada etapa, seguida de uma queda nas subetapas dentro delas, com um crescimento seguinte até a etapa posterior. Isso é mais evidente em A, B, F e H. Em C, entretanto, esse comportamento apresenta uma pequena diferença. Nele o crescimento se completa na segunda subetapa da eliciação flexível, enquanto que o decrescimento durante a ordenação só ocorre na segunda subetapa. Nesses cinco casos, há um aumento durante a avaliação da recomendação. O mesmo não ocorre em D, E, G, I e J, onde a potência cai na última etapa. Em D, contudo, o comportamento parece similar ao observado em C, no que tange a formação de um pico na segunda subetapa da eliciação flexível. O caso de E e J foram os mais diferentes de todos. Neles, parece haver uma inversão do padrão identificado em A, B, F e H. Um crescimento na potência das bandas acompanha o início de cada etapa, sendo seguido de um decrescimento nas subetapas intermediárias. O mesmo julgamento adotado em 3.3.2 pode ser aplicado aqui para justificar as diferenças constatadas. De modo geral, a observação leva a crer que parece haver um comportamento que não está relacionado ao número de subetapas, mas sim ao conjunto delas dentro de cada etapa.

Outra constatação é que as bandas parecem estar correlacionadas entre si, comportamento bastante evidente em A, C, E e H. Nos outros casos, também se observa uma correlação, porém, com pequenas diferenças com destaque para D e G. Em D, observa-se, na última etapa, que a banda alfa cresce enquanto que beta decresce. Já em G, nas primeiras

e últimas subetapas, o padrão de queda difere levemente, sendo para alfa mais suave, em formato côncavo, enquanto que para beta, mais convexo.

Diante disso, aqui também se buscou calcular os valores de correlação através do teste de Spearman, os quais são apresentados na Tabela 5 que considera o valor de potência das bandas com o número de etapas e de uma banda com a outra.

Tabela 5 - Correlação de Spearman para as bandas alfa e beta e número de subetapas do experimento para todos os participantes.

Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Banda alfa x N° de subetapas	0,553	-0,065	-0,106	0,182	-0,398	0,622	0,744	0,209	0,118	-0,448
Banda beta x N° de subetapas	0,390	0,046	-0,358	0,246	-0,462	0,876	-0,037	0,231	-0,026	-0,064
Banda alfa x Banda beta	0,9	-0,349	0,828	0,571	0,734	0,428	0,494	0,831	0,497	0,739

Fonte: Esta pesquisa (2017).

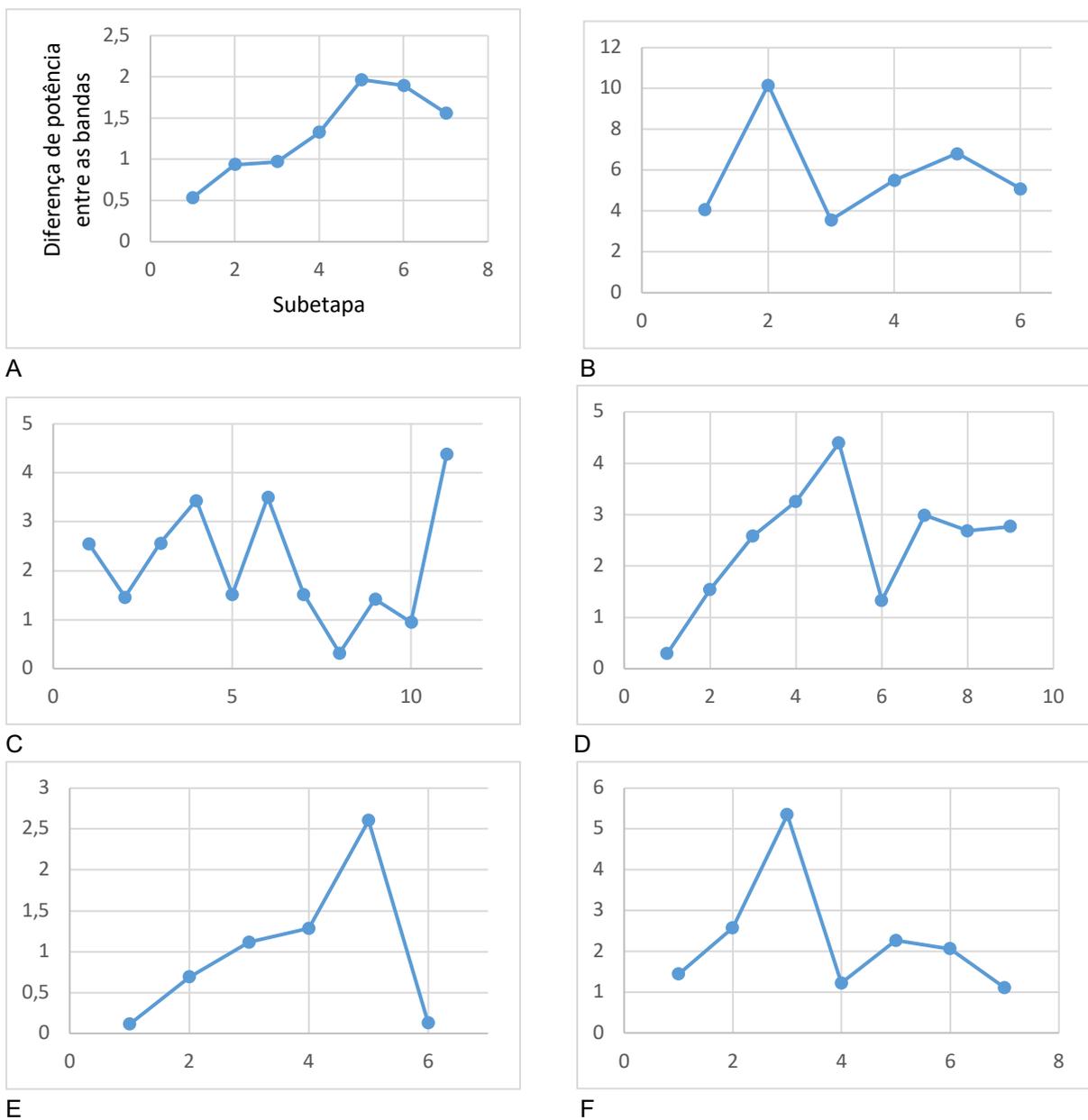
Assim como a informação visual sugere, há uma correlação positiva entre as bandas alfa e beta a qual foi significativa para três participantes A, C, E, H e J, e moderada e fraca para quatro (D, F, G e I). Quanto a B, o valor obtido indica correlação negativa fraca. Tal divergência significativa, contudo, não parece ter relação com o tipo de problema nesse experimento, nem com o número de critérios ou alternativas.

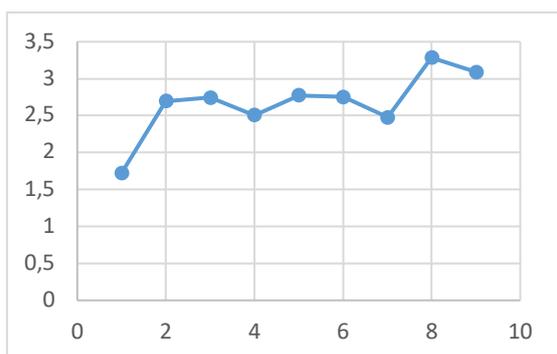
Acerca das outras relações, essas apresentaram resultados diversificados, demonstrando não haver um comportamento linear em todos os casos. Para a relação entre alfa e o número de subetapas, apenas F e G mostraram valores altos de correlação positiva. Em A, D, H e I, os valores foram de moderado a baixo. Já em B, C, E e J, a correlação foi negativa fraca. Por sua vez, a relação entre beta e o número de etapas mostrou apenas um índice de alta correlação positiva que foi o caso de F. Nos outros casos, a constatação de correlação fraca, ora positiva, ora negativa. A informação da observação visual, assim, parece ser mais sugestiva demonstrando a presença de um comportamento quase constante para todos os decisores como pequenas variações, a exceção do caso E e J, que podem ser explicadas pela diferença natural entre os problemas propostos e perfil de preferências dos decisores.

Outra observação que pôde ser feita aqui é acerca da diferença entre a potência das bandas alfa e beta. O que se percebe é que a primeira foi maior do que a segunda para todos os experimentos em quase todas as subetapas, exceto em B, C, G e H onde alfa foi maior que beta sempre. Dessas, apenas B tratou do problema de seleção de projeto, enquanto os demais experimentos foram para a seleção de localização. Além disso, em todos eles o número total de subetapas na elicitación flexível foi respectivamente de 1, 2, 5, 2, os menores na amostra, a exceção de G. Aqui, parece, então, haver uma relação entre a diferença de potência das bandas e o tipo de problema e número de subetapas na elicitación flexível.

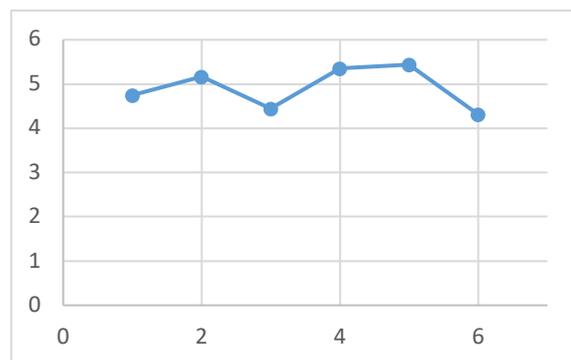
Em busca de mais informações, entretanto, buscou-se analisar o valor da diferença absoluta entre as bandas (eixo y) ao longo das subetapas (eixo x). O valor absoluto permite uma avaliação mais razoável, visto que buscou-se identificar o comportamento da diferença e não quando houve mudança de posição entre alfa e beta, ainda mais quando se percebe pelos gráficos que essa mudança ocorreu poucas vezes, permitindo assumir a maior significância de alfa durante os experimentos. Seis gráficos referentes a todos os experimentos são mostrados a seguir na Figura 11 com os dados relativos a diferença de potência entre alfa e beta aos longo das subetapas.

Figura 11 - Diferença absoluta de potência das bandas alfa e beta ao longo das subetapas para todos os participantes.

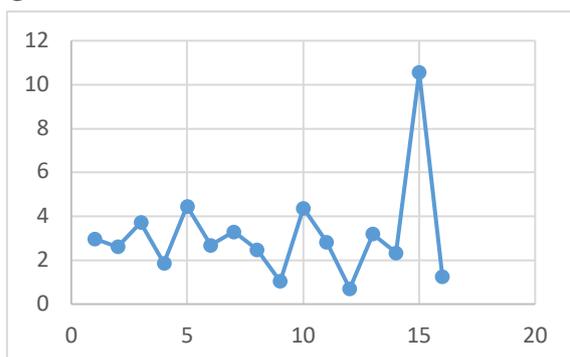




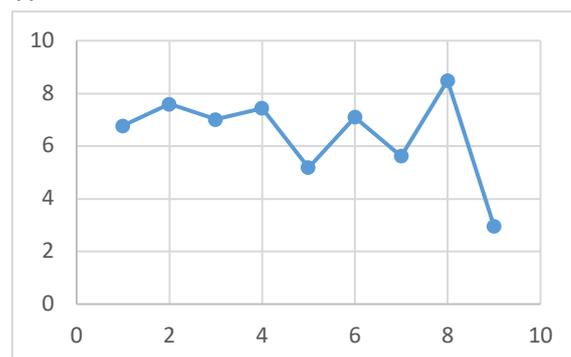
G



H



I



J

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Em alguns casos, foi possível observar um comportamento crescente, seguido de um decréscimo da diferença, formando uma curva como se observa em A e E. Esse padrão sofre algumas variações em B, D, F e H onde ocorre uma quebra no final da etapa de ordenação e início da etapa de elicitación flexível. A maior diferença ocorreu, entretanto, com C, D, G, I e J, onde se observa várias flutuações da diferença ao longo do experimento. Para C, a diferença atingiu o seu maior valor na última etapa, enquanto que para os outros participantes, a diferença em tal etapa marca um fim de uma queda nos valores. Para esses casos, o pico ocorreu durante a ordenação das constantes de escala ou a elicitación flexível. Além disso, aqui parece existir uma relação desse comportamento com o número de critérios e número total de subetapas do experimento, de modo que quanto maiores foram estes, maior foi o número de variações. Além disso, observou-se que em A, G, H, I e J, as variações são menos intensas.

Para essas análises também foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman, os quais são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Correlação de Spearman para diferença absoluta de potência entre as bandas alfa e beta em função do número total de subetapas para todos os participantes.

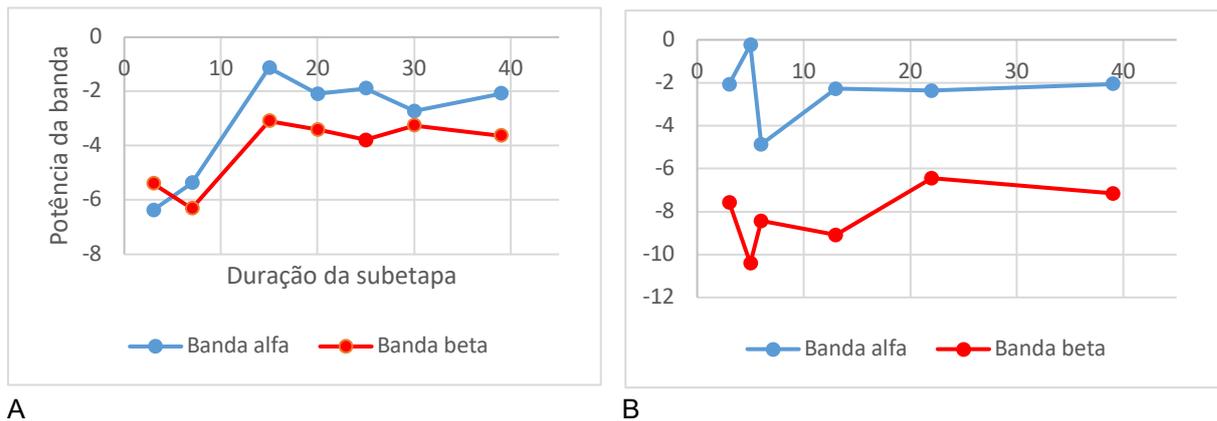
Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Diferença entre bandas alfa e beta x N° de subetapas	0,871	-0,068	0,463	0,061	0,344	-0,27	0,722	-0,049	0,156	-0,435

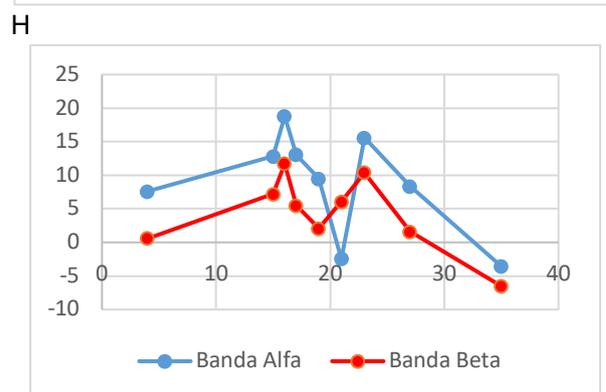
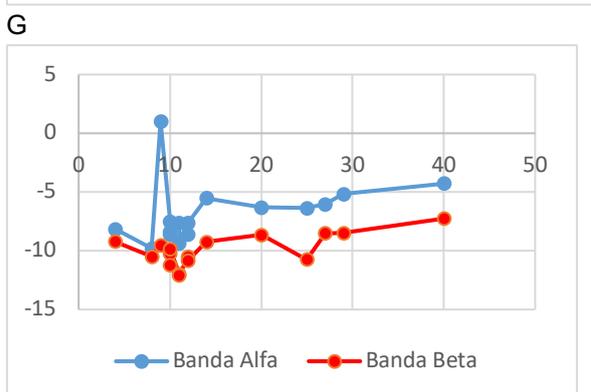
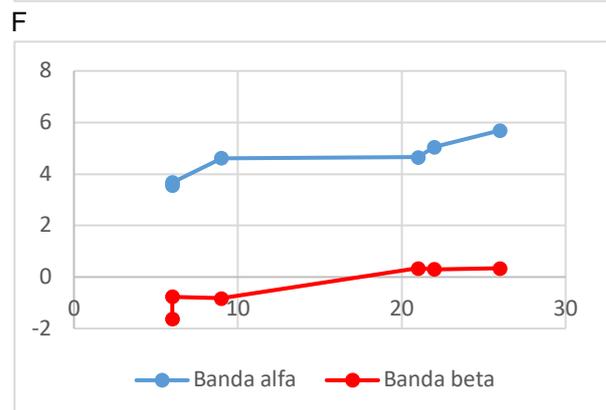
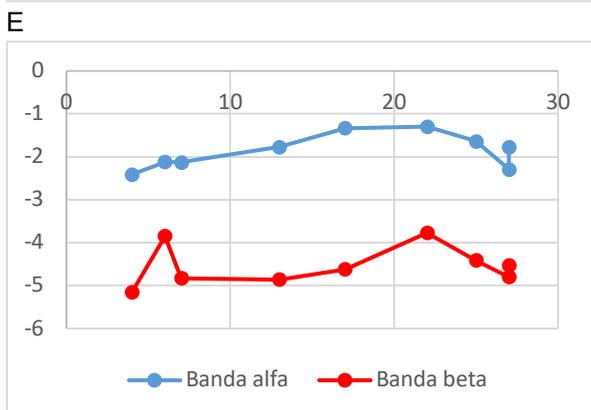
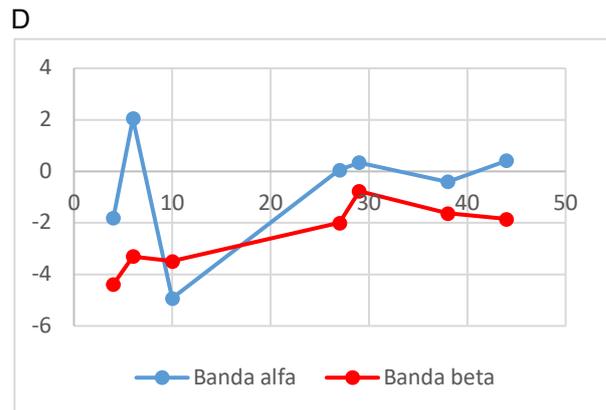
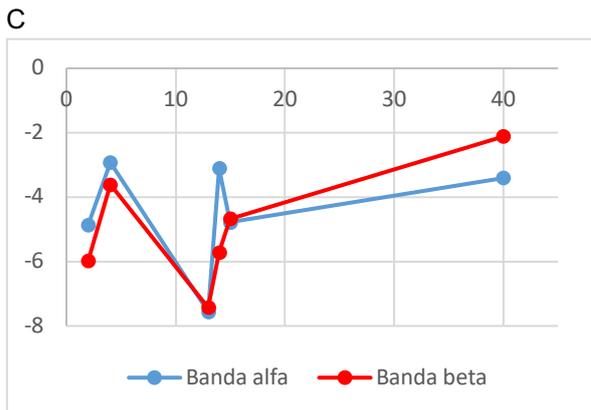
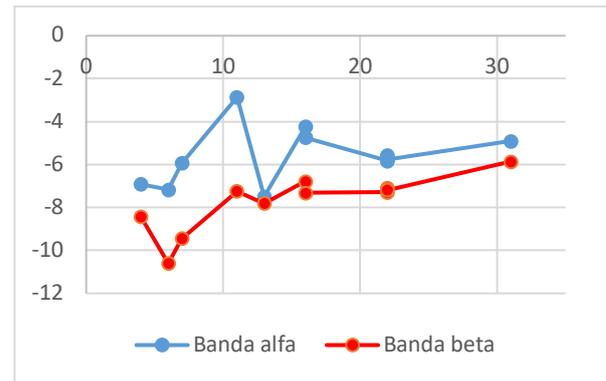
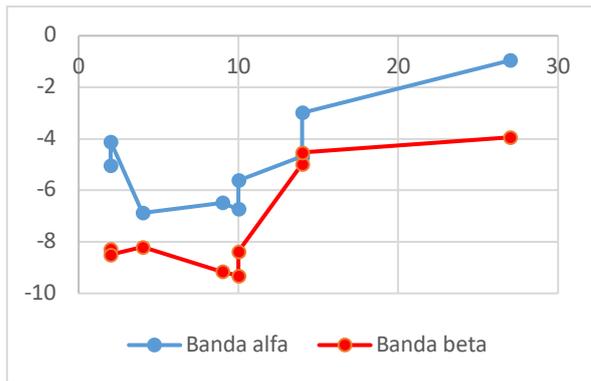
Fonte: Esta pesquisa (2017).

Apenas dois experimentos obtiveram alto valor de correlação positiva (A e G), e dois de correlação positiva fraca (C e E). Nos outros casos, os valores mostraram correlação positiva baixa (D e I) e correlação negativa fraca (B, F, H e J). Diante disso, não é possível assumir a existência de algum tipo de correlação entre as variáveis dado a variação nos valores identificados para os experimentos. Entretanto, as observações discutidas anteriormente parecem sugerir a existência de um padrão no comportamento dos dados, o que pode levar a algumas hipóteses, as quais são discutidas no final deste capítulo, na seção 3.4.

Analisou-se ainda o comportamento das bandas alfa e beta (eixo y) em função da duração das subetapas (eixo x) nos experimentos. O propósito foi identificar a presença de algum tipo de correlação entre as variáveis ou a existência de comportamento comum na maioria dos experimentos. Assim, os gráficos com os dados para todos os decisores são mostrados na Figura 12.

Figura 12 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta em função da duração das subetapas para todos os participantes.





I

J

Fonte: Esta pesquisa (2017).

A observação aqui demonstra haver um padrão de crescimento da potência das bandas em função da duração das subetapas e, portanto, uma correlação positiva entre as variáveis analisadas. Aparentemente, essa correlação é mais forte na banda beta do que na banda alfa, como ocorre em A, C, D, F, H e I. Outra constatação é que essa correlação se

torna mais fraca a medida em que a duração da subetapa aumenta, algo em torno de 20 segundos, como em A, G e H. Já no caso de B, C, D, E, F e I, essa mudança ocorre a partir dos 15 segundos, aproximadamente. Em J, contudo, tem-se uma exceção nesse tipo de comportamento.

Para obter informações mais confiáveis, foi realizado o teste de correlação de Spearman aqui também. Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 7 e, em seguida, comentados.

Tabela 7 – Correlação de Spearman para a potência das bandas alfa e beta em função da duração das subetapas para todos os participantes.

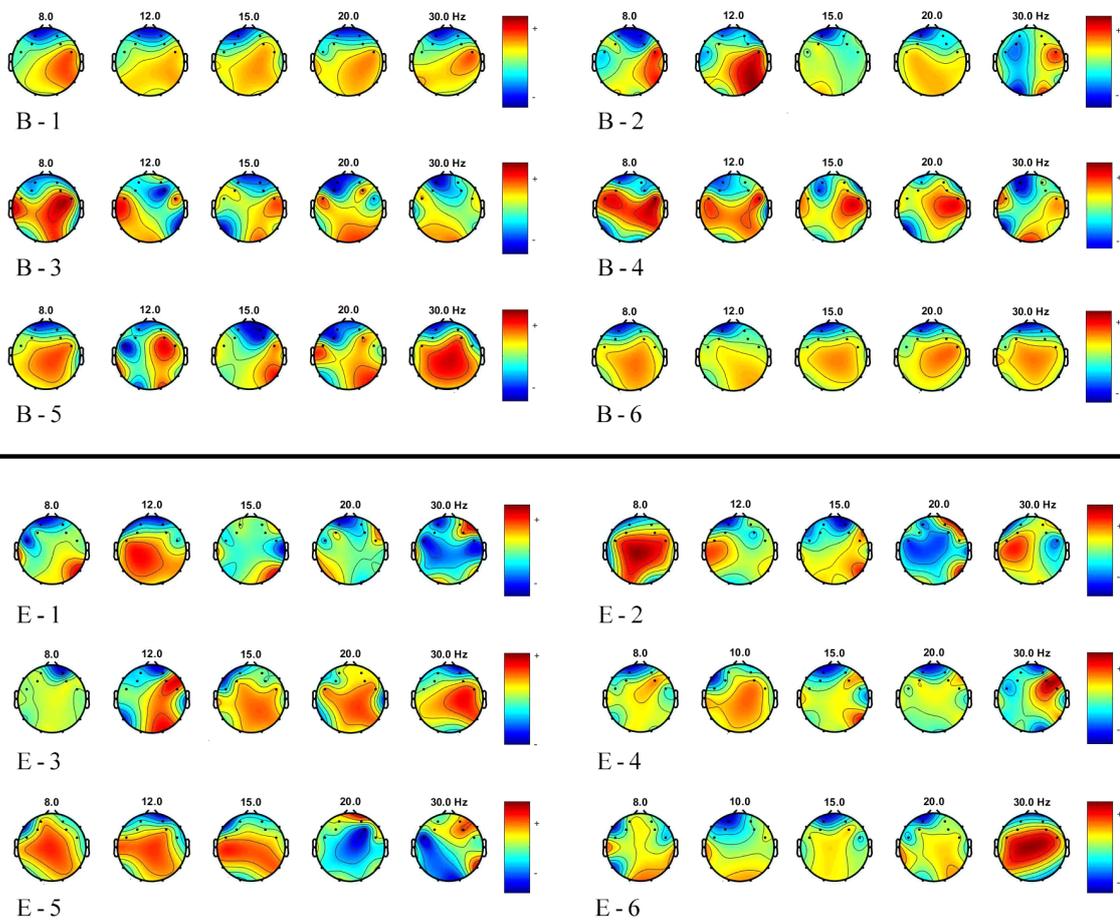
Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Banda alfa x Duração das subetapas	0,694	0,046	0,691	0,309	0,167	0,313	0,449	0,904	0,346	-0,448
Banda beta x Duração das subetapas	0,689	0,564	0,769	0,806	0,590	0,835	0,198	0,929	0,642	-0,385

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Para ambas bandas, os resultados sugerem correlação positiva em todos os experimentos, exceto em J, sendo ela mais forte, contudo, para a banda beta, conforme esperado através da análise gráfica. Em quatro casos a correlação identificada foi alta para beta (C, D, F e H), e em outras quatro (A, B, E e I) ela foi moderada. Em G, o índice foi fraco e em J ele foi negativo fraco. A relação aqui pode ter influência do número de critérios dos problemas nos experimentos, sendo o primeiro grupo o detentor do maior número de critérios em média, segundo do segundo grupo e G e J por último. Já no caso da banda alfa, os valores mostram a existência de uma correlação fraca, como em B, D, E, F, G e I, e moderada, como em A e C. Em H, por sua vez, a correlação foi positiva alta e em J foi negativa fraca. Diante disso, parece razoável assumir haver uma correlação para a banda beta com a duração da subetapa e o número de critérios do problema, de modo que beta cresce com o aumento da duração da subetapa e número de critérios, sendo menos evidente para o caso da banda alfa.

Por fim, a última análise aqui considerou as localizações onde as bandas alfa e beta foram mais intensas, ou seja, onde apresentaram maior potência. Assim, calculou-se as médias da potência das bandas alfa e beta ao longo das subetapas por canal para os dez participantes. A informação gráfica aqui, entretanto, não facilitaria a análise, assim, são mostrados os mapas topográficos EEG para dois participantes na Figura 13 em conjunto com os valores médios na Tabela 8 para todos os experimentos.

Figura 13 - Mapas topográficos EEG para dois participantes com as frequências 8, 12, 15, 20 e 30 Hz ao longo das subetapas.



Fonte: Esta pesquisa (2017).

Tabela 8 - Média da potência das bandas alfa e beta para os dez participantes ao longo das áreas cerebrais.

Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
8-12Hz	AF	-10,43	-6,79	-9,54	-9,58	-9,18	0,85	-8,54	1,74	-16,63	6,02
	F	-1,66	-2,98	-5,89	-4,62	-4,95	0,25	1,41	3,79	-6,21	6,96
	FC	-2,59	0,71	-5,69	-7,64	-4,23	1,27	-2,15	2,32	-5,57	17,41
	T	-1,96	-2,15	-2,33	-4,77	-1,89	-5,03	-4,03	3,29	-6,23	8,46
	P	-1,65	-1,22	0,65	-5,84	-4,01	-0,87	-1,02	13,37	-3,21	8,73
	O	-1,69	-0,77	-5,12	-1,99	-1,84	-1,00	-0,13	3,45	-3,37	7,44
13-30Hz	AF	-11,77	-14,24	-12,50	-11,13	-7,84	-1,14	-12,22	-4,67	-19,99	0,72
	F	-1,64	-9,51	-7,99	-6,18	-4,89	-1,67	-1,68	-1,21	-9,14	2,66
	FC	-0,46	-5,91	-9,16	-8,05	-5,15	-0,82	-2,47	-2,27	-7,74	13,18
	T	-3,89	-5,56	-4,05	-6,45	-4,48	-4,86	-6,09	0,36	-9,35	4,22
	P	-4,29	-6,58	-0,87	-9,19	-3,12	-3,68	-4,11	7,55	-6,72	3,64
	O	-5,19	-5,99	-8,21	-6,93	-4,06	-3,57	-3,50	-1,67	-7,38	2,65

* AF: Frontal Anterior; F: Frontal; FC: Frontal Central; T: Temporal; P: Parietal; O: Occipital.

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Diante disso, foram identificadas as três áreas cerebrais para as quais as bandas mais se destacaram e o resultado é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Áreas cerebrais com maior destaque para as bandas alfa e beta para todos os participantes.

Participantes	Áreas com maior potência da banda alfa	Áreas com maior potência da banda beta
A	Frontal, parietal e occipital	Frontal, frontal central e temporal
B	Frontal central, parietal e occipital	Frontal-central, temporal e occipital
C	Temporal, parietal e occipital	Frontal, temporal e parietal
D	Frontal, temporal e occipital	Frontal, temporal e occipital
E	Temporal, parietal e occipital	Frontal, parietal e occipital
F	Anterior frontal, frontal e frontal central	Anterior frontal, frontal e frontal central
G	Frontal, parietal e occipital	Frontal, frontal central, occipital
H	Frontal, parietal e occipital	Frontal, temporal e parietal
I	Frontal, parietal e occipital	Frontal, parietal e occipital
J	Frontal, temporal e parietal	Frontal, temporal e parietal

Fonte: Esta pesquisa (2017).

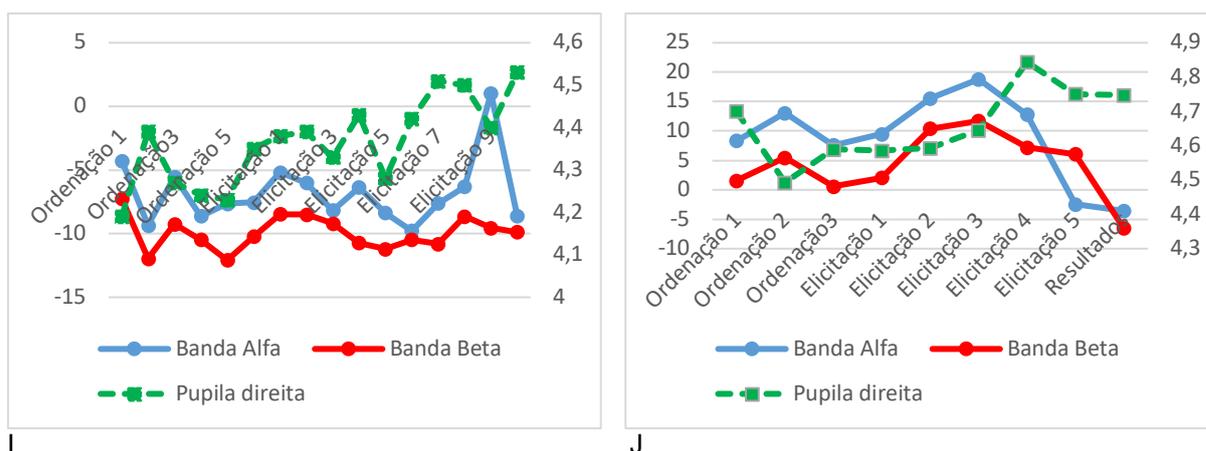
De modo geral, as regiões parietal, occipital e temporal foram onde a banda alfa mais se destacou. Em contrapartida, a banda beta foi mais intensa nas regiões frontal, frontal central e temporal. Os resultados sugerem, então, que as regiões anteriores do córtex tiveram maior destaque na presença da banda alfa, enquanto que as regiões posteriores, na banda beta. Esses resultados são comentados mais adiante na seção 3.4.

3.3.4 Análise da potência das bandas alfa e beta e dilatação da pupila

A última análise focou na observação conjunta do comportamento da potência das bandas alfa e beta e a dilatação da pupila direita (eixo y) ao longo das subetapas (eixo x) em busca da identificação de algum padrão. A Figura 14 mostra os gráficos desta análise para todos os experimentos realizados.

Figura 14 - Valores médios de potência das bandas alfa e beta e da dilatação da pupila ao longo das subetapas para todos os participantes.





Fonte: Esta pesquisa (2017).

Em alguns momentos a dilatação da pupila parece se correlacionar com o comportamento das bandas em outros, não. Por exemplo, em A, o seu comportamento se assemelha ao de beta na segunda, terceira e quarta subetapa, e a partir da quinta, torna-se similar ao de ambas as bandas. Em B, a dilatação da pupila se comporta semelhante a alfa até a terceira subetapa e, a partir de então, o comportamento fica similar ao de alfa e beta. Já em C, nas subetapas dois, três e quatro, o comportamento da pupila acompanha o das bandas, sendo que na quinta ela cresce como em alfa, porém não em beta. Quanto a D, as semelhanças ficam mais perceptíveis entre a pupila e alfa nas três últimas subetapas do experimento. Em E, a semelhança entre as bandas e a pupila foi alta, diferindo levemente entre as subetapas quatro e cinco. Em F, a pupila se aproxima do comportamento de beta no começo do experimento, mas em seguida se iguala ao de ambas as bandas, diferenciando-se, contudo, na última etapa. Por sua vez, em G, ocorre com beta nas três primeiras subetapas. Na última, a dilatação da pupila se difere de ambas as bandas, porém há um crescimento na medida, ao contrário de alfa e beta. Com relação a H, nas três primeiras e três últimas subetapas, a dilatação da pupila apresenta comportamento inverso ao das bandas. A ressalva fica entre a terceira e quarta subetapa, onde tanto alfa, beta e a dilatação da pupila se apresentam sincronizadas. Em I, as semelhanças são perceptíveis nas primeiras subetapas de elicitación flexível para ambas as bandas. Por fim, em J, a dilatação da pupila se difere do comportamento das bandas, sendo menos intensa nas últimas subetapas com relação a banda alfa.

Mais uma vez, a correlação de postos de Spearman foi calculada nessa análise para todos os participantes. Os valores são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Correlação de Spearman para dilatação da pupila em função da potência das bandas alfa e beta para todos os participantes.

Participantes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Dilatação da pupila x Banda alfa	-0,221	0,631	-0,308	0,540	-0,135	0,295	-0,142	0,012	-0,0003	-0,404
Dilatação da pupila x Banda beta	-0,203	-0,172	-0,366	0,444	-0,409	0,674	0,293	-0,484	0,0233	-0,134

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Os dados obtidos variaram em função do tipo de correlação, positiva ou negativa, como também na intensidade da mesma. Dessa forma, não parece razoável crer que dilatação da pupila esteja relacionada estritamente à potência das bandas isoladamente. A informação gráfica sugere, entretanto, que em alguns momentos ela acompanha alfa, em outros, beta, e em outros, ambas, como em alguns, nenhuma.

3.4 Discussão de Resultados

O presente estudo contou com experimentos que podem ser considerados em certo grau, únicos, isso porque, trataram de problemas diferentes desenvolvidos pelos próprios participantes. Tal fato representa uma vantagem ao mesmo tempo que impõem algumas limitações. A vantagem consiste nos participantes poderem lidar durante a pesquisa com problemas do seu próprio interesse, trazendo, assim, certa realidade aos experimentos, diferentemente de outros que criam problemas padrões para poderem testar hipóteses. Aqui, entretanto, o teste dessas fica mais limitado, bem como certas análises com os equipamentos disponíveis, tais como ERP através dos dados do EEG. Contudo, isso pode ser superado em pesquisas futuras e não representa um grande problema aqui, visto que se trata de um trabalho exploratório. Assim, os resultados deste estudo permitiram observar implicações da abordagem de elicitación flexível interativa e que são discutidas a seguir. Tais implicações estão associadas a comportamentos cognitivos que se refletem na satisfação do decisor com o método e a recomendação dada.

Acerca dos problemas tratados nos experimentos, constatou-se uma relação positiva entre o número de critérios e a duração total, o que faz sentido, visto que em tais casos se espera uma maior complexidade. Assim, quanto mais critérios tem o problema, mais considerações devem ser feitas na avaliação das alternativas de escolha, mais *trade-offs* devem ser considerados e, portanto, mais tempo é gasto. Apesar disso, em nenhum experimento, o tempo entre o início da navegação no sistema e a avaliação da recomendação do sistema durou mais do que 4 minutos, demonstrando a rapidez e praticidade do método FITradeoff.

Quanto à análise pupilométrica, não se mostrou uma tendência de crescimento ou decréscimo ao longo de todo o experimento, a não ser, picos em momentos específicos. Da literatura, há evidências que mostram a relação de tal comportamento com esforço mental e atenção (KAHNEMAN, 1973; QIYUAN et al., 1985). Considerando que o FITradeoff visa reduzir o nível de esforço dispendido pelo indivíduo para eliciação de preferências, parece razoável pensar que tais picos estão associados a momentos de maior dificuldade ou que demandaram maior atenção e que aconteceram em algumas situações e não durante toda a experiência. Nesse sentido, os valores de dilatação maiores na etapa de avaliação da recomendação condizem com o raciocínio de que nesse momento o indivíduo busca identificar se a recomendação do método Ihe é satisfatória, e, portanto, se condiz com suas preferências. Trata-se de uma situação onde se espera que maior atenção seja demandada do decisor. Já os picos durante as subetapas intermediárias podem estar associados a questões elaboradas mais difíceis ou nas quais o decisor esteja indiferente quanto as suas preferências. Como já comentado anteriormente, a dinâmica das perguntas varia em função das respostas fornecidas pelo mesmo. Assim, tais questões podem surgir em momentos distintos durante o uso do sistema.

Ainda considerando a dilatação da pupila, uma das análises sugeriu uma correlação da variação dessa com o número total de subetapas dos experimentos. Isso pode estar associado ao fato da dilatação da pupila apresentar um limite máximo (KAHNEMAN, 2013). Assim, quando esse limite é alcançado, a pupila relaxa, havendo uma retração. Desse modo, o maior número de etapas, pode estar influenciando as variações, bem como as diferenças de seu comportamento com o das bandas alfa e beta conforme discutido mais adiante.

Por sua vez a análise das bandas alfa e beta permitiu identificar aspectos relevantes como a maior potência da banda alfa em relação à beta durante quase todo o experimento. Estando beta relacionada positivamente a esforços cognitivos conforme se observa em vários trabalhos (JENSEN; KAISER; LACHAUX, 2007; MILTNER et al., 1999; MICHEL et al., 1993), enquanto que alfa ao nível de atenção e interesse (SCHEERINGA et al., 2009; KLIMESCH; SCHACK; SAUSENG, 2005; KLIMESCH, 1999), o comportamento observado relacionado a essa última sugere que durante todo o uso do software os decisores estiveram engajados fornecendo informações de preferência. Enquanto isso, o valor mais baixo da banda beta pode representar que esta experiência não demandou grande esforço dos mesmos. Considerando que o alto grau de esforço pode impactar no estresse, a constatação aqui pode indicar o atendimento da expectativa do método de aprimorar a experiência. Concorda com isso o fato de haver baixo número de subetapas se comparado a outros métodos de eliciação. Nos problemas tratados aqui, o número de subetapas só não foi menor dado a restrição da etapa de ordenação das constantes de escala conter sempre $c-1$ subetapas, onde “c” é o número de critérios do problema de decisão. O FITradeoff é, portanto, um procedimento que gera resultados rápidos dado ao seu algoritmo de processamento das informações.

Ainda nessa análise, observou-se que a diferença entre as bandas cresce até as subetapas intermediárias e depois decresce para a maioria dos experimentos. Isso indica que as maiores diferenças entre esforço e atenção se deram durante as últimas subetapas da ordenação e as primeiras da elicitación flexível. Isso pode se dar uma vez que se avançando na ordenação, ou na elicitación, se aprende sobre o processo e esse se torna mais fácil para o decisor, ou ainda, pela própria pergunta que em dado momento pode ter sido mais fácil para ele, diferença essa, que decaiu nos experimentos, em geral, na última subetapa. Isso porque, nesse momento ocorre a apresentação da recomendação do sistema e avaliação por parte do decisor. Espera-se que nesse momento, tanto os níveis de atenção e esforço sejam altos, um vez que o decisor deve aceitar ou rejeitar a solução proposta. Concorde com isso o comportamento da pupila nessa subetapa conforme discutido anteriormente.

Além disso, foi observado que quanto mais critérios apresentou o problema, maior o número de variação da diferença absoluta. Isso pode ser explicado pelo fato de que o maior número de critérios representa a existência de mais considerações e *trade-offs* a serem feitos entre os critérios, conforme comentado anteriormente, podendo ser, ora mais fáceis para o decisor, ora mais difíceis, em função dos critérios que estão sendo considerados em cada análise. Assim, tanto na etapa de ordenação, quanto de elicitación flexível, para aqueles problemas que apresentaram maiores números de critérios, o decisor pode ter se deparado com momentos de indiferença, preferência fraca, ou no sentido oposto, preferência estrita mais vezes., gerando mais variações no valor da diferença de potencia entre as bandas. Tais variações podem explicar, então, as divergências observadas entre um experimento e outro nas análises pupilométricas e das bandas realizadas nesse estudo.

Por fim, quanto à diferença entre as bandas, constatou-se que estas foram mais significativas para os problemas de escolha de localização, nos quais o número de subetapas na elicitación flexível foi em geral menor. Nesses casos, sendo a potência da banda alfa maior do que a potência da banda beta durante todo o experimento, pode-se supor maior facilidade para elicitación de preferências desses problemas em comparação ao demais, de modo que a própria etapa de elicitación flexível demandaria menos perguntas, como constatado nesses experimentos. Assim, o tipo de problema, e nesses casos os de localização, podem influenciar na facilidade do processo em obter uma recomendação.

Quanto ao comportamento das bandas em função da duração das subetapas, observou-se que há uma correlação positiva forte a moderada em quase todos os experimentos para beta, enquanto que para alfa, o índice foi mais fraco. Aqui, a observação faz sentido quando se pensa que se gasta mais tempo com questões mais difíceis onde há indiferença, e portanto, a potência na banda beta tende a ser maior. De igual modo isso também pode acontecer com a atenção, entretanto, espera-se que ela se mantenha menos variável em virtude de sua relação com outros fatores além do grau de dificuldade. Além disso,

a correlação identificada entre as bandas fortalece a expectativa de que tal resultado seja mais forte para uma e mais moderada para a outra.

Outra constatação da análise das bandas é acerca das regiões cerebrais onde elas são mais intensas. Da literatura, tem-se que o córtex frontal está relacionado à tomada de decisão. Os resultados do presente estudo concordam com isso, pelo que houve maior intensidade da banda beta nas regiões anteriores do córtex. Por sua vez, as regiões posteriores estão mais relacionadas a análise sensorial, como o processamento da visão no córtex occipital. Esse último, juntamente com o parietal e temporal, destacou-se na presença da banda alfa na maioria dos experimentos, concordando com os achados na literatura. Tal evidência reforça o significado dado às bandas no presente estudo, mostrando o potencial do mesmo para a avaliação do FITradeoff.

Por fim, a análise conjunta da dilatação da pupila e da potência das bandas, mostrou um comportamento semelhante da primeira com as duas últimas em algumas situações, ora parecendo acompanhar, alfa, ora, beta, ora, ambas ou nenhuma. Em adição, os valores de correlação de Spearman não sugerem que haja correlação entre as variáveis. Assim, pode-se entender que a pupila pode estar se relacionando em dados momentos com o nível de esforço demandado, como também, com a atenção e interesse. Entretanto, o fato da limitação na dilatação da pupila, e que nesse estudo foi observada uma correlação com o número total de subetapas, pode estar influenciando a variação da mesma e a baixa correlação com as bandas alfa e beta.

3.5 Considerações Finais do Capítulo

Todos esses resultados corroboram a utilidade do uso das ferramentas de neurociência e de estudos cognitivos para a avaliação de sistemas de informação, e nesse caso, de apoio a decisão, bem como do processo decisório. A neurociência em decisão, assim, apresenta potencial de fornecer resultados que permitam tornar a experiência com o FITradeoff ainda melhor, corrigindo e adaptando onde for necessário através dos valiosos *insights* que podem ser fornecidos. Trabalhos futuros, entretanto, devem focar em testes de hipótese, contando, para isso, com uma amostra maior e mais representativa, bem como, alterações na estrutura dos-experimentos.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar os aspectos cognitivos presentes durante o processo de elicitación de preferências através do uso de um sistema de apoio a decisão com aplicação do FITradeoff. Desse modo, fez-se uso de equipamentos de neurociência, um rastreador ocular e um EEG, e analisou-se o comportamento de variáveis fisiológicas e neurológicas ao longo dos problemas de decisão tratados nos experimentos. Esses foram desenvolvidos pelos próprios participantes a fim de conferir realidade, permitindo uma análise mais confiável dos dados.

No primeiro momento, a análise da dilatação da pupila não mostrou haver correlação observável para todos os participantes com o número de subetapas, duração dessas e a duração do experimento, entretanto, um comportamento comum da mesma pareceu ser mais sugestivo. A consideração aqui é de que os valores mensurados parecem acompanhar o nível de atenção e esforço dispendido pelos decisores, como sugere vários trabalhos, variando em função do tipo de etapa em que o decisor se encontra no processo, bem como, pelo tipo de questão apresentada. Como no FITradeoff a dinâmica das perguntas tem relação com as informações fornecidas previamente, os picos da dilatação da pupila em momentos distintos para os decisores, observado nos experimentos, é, assim, algo esperável. Além disso, valores maiores de dilatação na última etapa concordam com a ideia de que na apresentação da recomendação do sistema, o decisor avalia se a mesma condiz com sua preferência e se a aceita como decisão a ser tomada.

Em seguida, a avaliação centrada na potência das bandas alfa e beta durante os experimentos identificou correlações significativas entre as bandas para todos os participantes, bem como, maior intensidade de alfa com relação a beta. Não sendo observada fortes correlações dessas com o número de subetapas nos experimentos, o padrão identificado sugere, então, que a experiência com o FITradeoff exige baixo esforço cognitivo, mas nível maior de atenção e interesse, sendo os mesmos maiores no início de cada etapa do problema. Reforçam tal hipótese a constatação de maior intensidade da banda alfa nas regiões posteriores do córtex, e beta nas regiões anteriores, além da correlação positiva dos valores de potência das bandas em função da duração das subetapas, sendo mais forte, entretanto, para beta. Isso porque, sendo maior o tempo gasto em dada subetapa, é razoável assumir que haja maior esforço dispendido na mesma. E as regiões anteriores e posteriores do córtex têm sido associadas, da literatura, a tomada de decisões e processamento sensorial respectivamente.

A análise das bandas também permitiu supor a influência do tipo de problema no processo de elicitación das preferências. Os dados sugeriram que para os problemas de escolha de localização, o número de subetapas na elicitación flexível foi, em geral, menor do

que nos outros tipos de problema, bem como a potência da banda alfa foi maior do que a potência da banda beta em todos os momentos e com valores significativamente maiores do que nos demais experimentos. Diante disso, pode-se supor que para tal tipo de problema, há maior facilidade para a obtenção de uma recomendação por parte do FITradeoff. Além disso, o número de critérios do problema pode contribuir aqui, sendo, porém, negativamente. Ou seja, quantomais critérios, mais *considerações e trade-offs* a fazer. Sendo que estes também podem influenciar nas variações observadas entre um experimento e outro nas análises feitas.

Por fim, a análise conjunta dos valores de potência das bandas e da dilatação da pupila mostrou um comportamento similar dessa última com as duas primeiras em momentos distintos. A hipótese que pode ser levantada é de que a pupila ora representa a atenção, aproximando-se do comportamento da banda alfa, ora o esforço cognitivo, aproximando-se do comportamento da banda beta. Entretanto, o comportamento em alguns momentos diferiu de ambas as bandas, e a correlação entre as variáveis foi baixa para a maioria dos experimentos. Isso tudo pode ser justificado pelo fato da pupila possuir um limite em sua dilatação. Sempre que esse é alcançado, há uma retração da dilatação da pupila. De posse disso, é esperável que em situações com maiores números de critérios e de subetapas, essas variações sejam observadas, o que foi constatado no presente estudo. Assim, apesar das divergências no comportamento da pupila com relação ao das bandas, essas são explicáveis, tornando a hipótese aqui levantada razoável.

Tais resultados sugerem que o FITradeoff tem alcançado os seus objetivos de reduzir o esforço cognitivo dos decisores no processo de elicitação, melhorando a experiência dos mesmos e reduzindo as inconsistências. Os dados de números de etapas dos problemas, e duração total já dão indício de que o método é rápido e prático, algo desejável para muitos decisores que precisam dividir seu tempo com muitas outras tarefas. O método de análise aqui, entretanto, que considera variáveis fisiológicas e neurológicas agrega para avaliação do FITradeoff, mais especificamente, no que diz respeito ao alcance de seus objetivos. Assim, há grande potencial no método proposto que é capaz de fornecer resultados mais completos e novos insights para correção e desenvolvimento do FITradeoff.

Vale ressaltar, entretanto, que o presente trabalho consiste em um estudo exploratório onde hipóteses foram levantadas e não testadas. Ou seja, os achados sobre o comportamento de aspectos cognitivos durante a elicitação com o FITradeoff não podem ser assumidos como verdadeiros, mas indícios a orientarem novas pesquisas. Corroborar para isso o fato dos experimentos diferirem uns dos outros, dado que cada problema foi desenvolvido pelos próprios participantes, inviabilizando certas análises conjuntas. Entretanto, no que se perdeu em padronização, ganhou-se em realismo. Além disso, o tamanho da amostra, menor do que em outros estudos exploratórios, configura uma limitação para o teste de hipóteses. Vale

ressaltar, contudo, que dado o fato dos experimentos em neurociência serem complexos do ponto de vista de obtenção e tratamento dos dados, é bastante comum estudos realizados nessa área contarem com um baixo número de participantes. Desse modo, o presente trabalho não destoia dos demais em neurociência. Todavia, este foi o objetivo do trabalho, levantar hipóteses que norteiem novos estudos de neurociência em decisão com o FITradeoff.

4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

A fim de superar tais limitações e gerar resultados mais amplos, pesquisas futuras podem se valer dos equipamentos e análises aqui realizadas, contando com uma amostra maior e mais diversificada. Desse modo, torna-se possível testar as hipóteses aqui levantadas e ainda outras. Para tanto, espera-se que seja possível conciliar a personalização dos problemas, uma vez que se trata de elicitación de preferências, com a padronização necessária para tais tipos de teste. Desse modo, podem ser buscadas perguntas ou critérios com certa semelhança e sobre eles serem lançadas hipóteses, bem como experimentos que trataram de problemas próximos em sua natureza.

Outras análises, ainda, podem ser feitas com os equipamentos usados aqui, bem como com outros, a exemplo dos equipamentos de ressonância magnética, medidor de frequência cardíaca e equipamentos de SCR (Skin Conductance Response). No caso do rastreador ocular, medidas tais como o número de sacadas e de fixações, a duração dessas últimas e as regiões onde elas ocorreram podem ser avaliadas no estudo do sistema. Por sua vez, no caso do EEG, a análise de ERPs, e em especial o p300, podem ser de grande valia aqui também. Quanto aos equipamentos de ressonância magnética, através do uso de fMRI, os mesmos apresentam capacidade de analisar áreas mais internas do cérebro, permitindo também a definição mais confiável de quais áreas se ativam com maior intensidade para dados estímulos. Desse modo, podem-se chegar a conclusões mais amplas sobre a influência do FITradeoff a esforço cognitivo e atenção, por exemplo. Os equipamentos de SCR, por sua vez, podem fornecer medidas indiretas de estresse e permitir a avaliação da satisfação dos decisores com o FITradeoff e com sistemas de apoio a decisão em geral. Assim, a integração de dados neurais com os fisiológicos permitirá ampliar os achados, fornecendo conclusões que amparem o estudo e o desenvolvimento na área de neurociência em decisão.

REFERÊNCIAS

ADAM, M. T. P.; GIMPEL, H.; MAEDCHE, A.; RIEDL, R. Design Blueprint for Stress-Sensitive Adaptive Enterprise Systems. **Business & Information System Engineering**, v. 59, n. 4, p. 277- 291, 2017.

ANDER-EGG, E. **Introducción a las técnicas de investigación social: para trabajadores sociales**. Humanitas: Buenos Aires, 1978.

BELTON, V.; STEWART, T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. **Springer Science & Business Media**, 2002.

CHRISTOV-MOORE, L.; SUGIYAMA, T.; GRIGAITYTE, K.; IACOBONI, M. Increasing generosity by disrupting prefrontal cortex. **Social neuroscience**, v. 12, n. 2, p. 174-181, 2017.

DE ALMEIDA, A.T.; ALMEIDA, J.A.; COSTA, A.P. C.S.; ALMEIDA-FILHO, A.T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

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

ALMEIDA, A. D.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. **Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

DIMOKA, A.; PAVLOU, P. A.; DAVIS, F. NeuroIS: The Potential of Cognitive Neuroscience for Information Systems Research. **Information Systems Research Articles in Advance**, p. 1-18, 2010.

EMOTIV EPOC+ - 14 CHANNEL WIRELESS EEG HEADSET. EMOTIV. Disponível em: <<https://www.emotiv.com/epoc/>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

GLIMCHER, P. W.; RUSTICHINI, A. Neuroeconomics: the consilience of brain and decision. **Science**, v. 306, n. 5695, p. 447-452, 2004.

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

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

HOTELLING, H.; PABST, M. R. Rank correlation and tests of significance involving no assumption of normality. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 7, n. 1, p. 29-43, 1936.

HU, Q.; WEST, R.; SMARANDESCU, L. The Role of Self-Control in Information Security Violations: Insights from a Cognitive Neuroscience Perspective. **Journal of Management Information Systems**, v. 31, n. 4, p. 6-48, 2015.

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

JENSEN, O.; KAISER, J.; LACHAUX, J. P. Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. **Trends in neurosciences**, v. 30, n. 7, p. 317-324, 2007.

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

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

KANG, M. J.; RANGEL, A.; CAMUS, M.; CAMERER, C. F. Hypothetical and real choice differentially activate common valuation areas. **Journal of neuroscience**, v. 31, n. 2, p. 461-468, 2011.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decision analysis with multiple conflicting objectives**. Wiley & Sons: New York, 1976.

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

KLIMESCH, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. **Brain research reviews**, v. 29, n. 2, p. 169-195, 1999.

KLIMESCH, W.; SCHACK, B.; SAUSENG, P. The functional significance of theta and upper alpha oscillations. **Experimental psychology**, v. 52, n. 2, p. 99-108, 2005.

LIM, S. L.; O'DOHERTY, J. P.; RANGEL, A. Stimulus value signals in ventromedial PFC reflect the integration of attribute value signals computed in fusiform gyrus and posterior superior temporal gyrus. **Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 20, p. 8729-8741, 2013.

LUKINOVA, E.; MYAGKOV, M. Impact of Short Social Training on Prosocial Behaviors: An fMRI Study. **Frontiers in systems neuroscience**, v. 10, p. 1-23, 2016.

MA, Q.; HU, Y.; JIANG, S.; MENG, L. The undermining effect of facial attractiveness on brain responses to fairness in the Ultimatum Game: an ERP study. **Frontiers in neuroscience**, v. 9, p. 1-9, 2015.

MAGEN, E.; KIM, B.; DWECK, C. S.; GROSS, J. J.; MCCLURE, S. M. Behavioral and neural correlates of increased self-control in the absence of increased willpower. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 27, p. 9786-9791, 2014.

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

MASSAR, S. A.; LIM, J.; SASMITA, K.; CHEE, M. W. Rewards boost sustained attention through higher effort: A value-based decision making approach. **Biological psychology**, v. 120, p. 21-27, 2016.

MICHEL, C. M.; HENGELER, B.; BRANDEIS, D.; LEHMANN, D. Localization of sources of brain alpha/theta/delta activity and the influence of the mode of spontaneous mentation. **Physiological Measurement**, v. 14, n. 4A, p. A21, 1993.

MILTNER, W. H.; BRAUN, C.; ARNOLD, M.; WITTE, H.; TAUB, E. Coherence of gamma-band EEG activity as a basis for associative learning. **Nature**, v. 397, n. 6718, p. 434-436, 1999.

MIYAZAKI, K.; MIYAZAKI, K.W.; DOYA K. Activation of Dorsal Raphe Serotonin Neurons Underlies Waiting for Delayed Rewards. **The Journal of Neuroscience**, v. 31, n. 2, p 469-479, 2011.

PARK, S. Q.; KAHNT, T.; RIESKAMP, J.; HEEKEREN, H. R. Neurobiology of value integration: when value impacts valuation. **Journal of Neuroscience**, v. 31, n. 25, p. 9307-9314, 2011.

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

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

QIYUAN, J.; RICHER, F.; WAGONER, B. L.; BEATTY, J. The Pupil and Stimulus Probability. **Psychophysiology**, v. 22, n. 5, p. 530-534, 1985.

RAGHURAMAN, A. P.; PADOA-SCHIOPPA, C. Integration of multiple determinants in the neuronal computation of economic values. **Journal of Neuroscience**, v. 34, n. 35, p. 11583-11603, 2014.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d" aide à la décision**. Economica, 1985.

SALO, A.; PUNKKA, A. Rank inclusion in criteria hierarchies. **European Journal of Operational Research**, v. 163, n. 2, p. 338-356, 2005.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa nas relações sociais**. Herder: São Paulo, 1965.

SCHEERINGA, R.; PETERSSON, K. M.; OOSTENVELD, R.; NORRIS, D. G.; HAGOORT, P.; BASTIAANSEN, M. C. Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. **Neuroimage**, v. 44, n. 3, p. 1224-1238, 2009.

SIGNA PIONEER - 70CM - 3.0T - MAGNETIC RESONANCE IMAGING - PRODUCTS. GE HEALTHCARE. Disponível em: <http://www3.gehealthcare.com/en/products/categories/magnetic_resonance_imaging/3-0t/signa_pioneer> Acesso em: 5 dez. 2017.

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

TOBII PRO X3-120 SCREEN-BASED EYE TRACKER. TOBII. Disponível em: <<https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-x3-120/>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

VAN DUIJVENVOORDE, A. C.; FIGNER, B.; WEEDA, W. D.; VAN DER MOLEN, M. W.; JANSEN, B. R.; HUIZENGA, H. M. Neural mechanisms underlying compensatory and noncompensatory strategies in risky choice. **Journal of cognitive neuroscience**, v. 28, n. 9, p. 1358-1373, 2016.

VENKATRAMAN, V. Why bother with the brain? A role for decision neuroscience in understanding strategic variability. **Progress in brain research**, v. 202, p. 267-288, 2013.

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

WEBER, C.A.; BORCHERDING, K. Behavioral Influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, n. 67, v. 1, p. 1-12, 1993.

WHAT IS GSR (GALVANIC SKIN RESPONSE) AND HOW DOES IT WORK? – IMOTIONS. IMOTIONS. Disponível em: <<https://imotions.com/blog/gsr/>>. Acesso em: 5 dez. 2017.