

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR HÍBRIDA E
COLABORATIVA NO PROCESSO DE TOMADA DE
DECISÃO**

ÂNDERSON RODRIGO SCHUH

Dissertação apresentada como
requisito parcial à obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação na
Pontifícia Universidade Católica do Rio
Grande do Sul.

Orientadora: Profa. Dr. Márcia de Borba Campos

Porto Alegre
2017

Ficha Catalográfica

S385 Schuh, Anderson Rodrigo

Interface Cérebro-Computador Híbrida e Colaborativa no Processo de Tomada de Decisão / Anderson Rodrigo Schuh . – 2017.

138 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, PUCRS.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia de Borba Campos.

1. Interface Cérebro-Computador Colaborativa. 2. Tomada de Decisão. 3. Rapid Serial Visual Presentarion. 4. EEG. 5. Revisão Sistemática. I. Borba Campos, Márcia de. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ânderson Rodrigo Schuh

Interface Cérebro-Computador Híbrida e Colaborativa no Processo de Tomada de Decisão

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Faculdade de Informática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 30 de Março de 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho (PPGCC/PUCRS)

Profa. Dra. Lucia Maria Martins Giraffa (PPGEDU/PUCRS)

Profa. Dra. Márcia de Borba Campos (PPGCC/PUCRS - Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que, de alguma maneira, contribuíram para a realização dessa dissertação de mestrado, em especial:

Aos amigos e familiares pela compreensão e apoio emocional nesta etapa tão árdua de minha vida.

Aos meus pais, Nair Schuh e José Francisco Schuh (In Memoriam), que sempre me apoiaram, e, sem dúvida, não teria alcançado com sucesso esta etapa.

Aos professores Dr. Marta Bez e Me. João Mossmann da Universidade Feevale, por sempre me motivarem a seguir em frente e alcançar sonhos maiores.

Ao Prof. Dr. Christian Haag Kristensen, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Psicologia, PPGP/PUCRS, pelo apoio na escolha e design da tarefa de tomada de decisão desenvolvida, e aos professores da Faculdade de Matemática da PUCRS Dr. João Feliz Duarte de Moraes e Me. Filipe Jaeger Zabala, pelo apoio no desenvolvimento da análise estatística executada.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, PPGCC/PUCRS, que participaram de alguma forma do processo de aprendizagem ao longo do curso, em especial ao Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho, do PPGCC/PUCRS e Profa. Dr. Lucia Maria Martins Giraffa, do Programa de Pós-Graduação em Educação, PPGEDU/PUCRS, pelas grandes contribuições durante a banca.

A minha orientadora, Profa. Dr. Marcia de Borba Campos, por todo apoio, disposição, paciência e contribuições, principalmente nos momentos difíceis e nas discussões acaloradas, sempre com intuito de fazer um grande trabalho.

A meu amor, Camila Alves Martins, que entrou em minha vida durante este período difícil, e como ninguém mais, dedicou-se a me apoiar, sempre parceira, compreensiva, e que me proporcionou o principal ensinamento de vida, o que é um amor verdadeiro e incondicional.

Gostaria por fim, de agradecer ao verdadeiro criador de tudo, aquele responsável por toda nossa história de vida e de nossa espécie, além de possuir destaque neste trabalho, o cérebro humano.

RESUMO

Interface Cérebro-Máquina (ICM) ou Interface Cérebro-Computador (ICC) é um sistema computacional capaz de estabelecer a comunicação entre a atividade neurofisiológica humana e um computador. Uma ICC híbrida (ICCh) consiste na combinação de dois ou mais tipos de ICC, duas ou mais técnicas de aquisição de sinal, ou, ainda, da combinação de uma ICC com outras técnicas de interação não baseadas em ICC. Uma ICC Colaborativa (ICCc) integra a atividade cerebral de um grupo de indivíduos, atuando, principalmente, no aumento da capacidade humana. Atualmente, no mercado, estão disponíveis equipamentos de Eletroencefalograma (EEG) de baixo custo, sendo um desses o Emotiv EEG, que é portátil, possui 14 eletrodos, e, além de registrar os sinais neurofisiológicos, os processa e disponibiliza em forma de medidas neurais, como, por exemplo, níveis de atenção e excitação. Além de medidas neurais, outras medidas podem revelar o comportamento de um indivíduo, como, por exemplo, a velocidade com que responde um desafio, que pode sugerir o quão confiante ele está sobre esta tomada de decisão. Este trabalho tem como principal objetivo “Verificar se medidas neurais e comportamentais possuem relação com as tomadas de decisão corretas e erradas”. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Após, foram desenvolvidos um sistema de coleta de dados e uma tarefa de tomada de decisão baseada em Rapid Serial Visual Presentation (RSVP). O experimento contou com 10 participantes, no qual cada um executou 112 ensaios, sendo registradas as medidas neurais captadas pelo Emotiv EEG, além do Tempo de Reação (RT) como medida comportamental e, a resposta dada pelo usuário, ambas coletadas por um teclado convencional. Para a análise dos dados, foram aplicadas técnicas de estatística, tais como análise descritiva, incluindo sumarização dos dados e gráficos de *boxplots*, e análise multivariada, utilizando regressão logística para estimar a relação entre medidas neurais e comportamentais com as decisões tomadas. A tarefa proposta mostrou-se eficiente, revelando nos resultados que a dificuldade empregada se mostrou efetiva. O banco de dados desenvolvido mostrou-se eficiente na sincronização dos dados da tarefa e as medidas registradas. Após diferentes abordagens de análise estatística dos dados, não foi encontrado um modelo de regressão que pudesse explicar com alto poder explicativo os dados amostrados. Desta maneira, baseado no experimento realizado e nas análises estatísticas, não foram encontradas relações entre medidas neurais e comportamentais e as tomadas de decisão corretas ou erradas.

Palavras-Chave: Interface Cérebro-Computador Colaborativa; Revisão Sistemática; Tomada de Decisão; Rapid Serial Visual Presentarion; EEG.

ABSTRACT

Brain-Machine Interface (BMI) or Brain-Computer Interface (BCI) is a computer system capable of establishing communication between human neurophysiological activity and a computer. A hybrid BCI (hBCI) consists of a combination of two or more types of BCIs, two or more signal acquisition techniques, or a combination of BCI with other non-BCI based interaction techniques. A Collaborative BCI (cBCI) integrates the brain activity of a group of individuals, mainly acting in the increase of the human capacity. Low-cost electroencephalogram (EEG) equipment is currently available in the market, one of which is the Emotiv EEG, which is portable, has 14 electrodes, and in addition to registering the neurophysiological signals, it processes and makes available them in the form of neural measurements, such as levels of attention and excitement. In addition to neural measures, other measures may reveal an individual's behavior, such as the speed with which he responds to a challenge, which may suggest how confident he is about this decision-making. This work has as main objective "To verify if neural and behavioral measures have relation with the right and wrong decision making". Initially, a systematic review of the literature was carried out. Afterwards, a data collection system and a decision-making task based on Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) were developed. The experiment consisted of 10 participants, in which each one performed 112 tests, recording the neural measurements taken by Emotiv EEG, besides the Reaction Time (RT) as a behavioral measure and the response given by the user, both collected by a conventional keyboard. Statistical techniques, such as descriptive analysis, including data summarization and boxplot charts, and multivariate analysis were used for the data analysis, using logistic regression to estimate the relationship between neural and behavioral measures with the decisions made. The proposed task proved to be efficient, revealing in the results that the difficulty was effective. The developed database proved to be efficient in synchronizing the task data and the recorded measurements. After different approaches of statistical analysis of the data, a regression model that could explain with high explanatory power the data sampled was not found. Thus, based on the experiment performed and statistical analyzes, no relationship was found between neural and behavioral measures and the correct or wrong decision-making.

Keywords: Colaborative Brain-Computer Interface; Systematic Review; Decision-making; Rapid Serial Visual Presentarion; EEG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Divisões do córtex cerebral humano.....	23
Figura 2 -	Comparativo entre SNC normal (A) e com ICC (B).....	31
Figura 3 -	Partes fundamentais de ICC.....	32
Figura 4 -	Distribuição dos eletrodos conforme padrão 10-20.....	36
Figura 5 -	Neurosky Mindwave.....	38
Figura 6 -	Emotiv EPOC.....	39
Figura 7 -	Sistemas de ICCh.....	44
Figura 8 -	ICC colaborativa com paradigma centralizado.....	46
Figura 9 -	ICC colaborativa com paradigma distribuído [WAN11a].....	46
Figura 11 -	Tabelas do banco de dados desenvolvido.....	62
Figura 12 -	Ambiente do experimento.....	63
Figura 13 -	Tarefa desenvolvida.....	64
Figura 14 -	Conjuntos de estímulos.....	65
Figura 15 -	Ambiente do experimento.....	67
Figura 16 -	Frequência de uso com jogos de percepção visual.....	70
Figura 17 -	Questionário Etapa 1 – Questão 1.....	71
Figura 18 -	Questionário Etapa 1 – Questão 2.....	72
Figura 19 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Distraído (1) x atento (5).....	73
Figura 20 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Descomprometido (1) x engajado (5).....	74
Figura 21 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Frustrado (1) x satisfeito (5).....	74
Figura 22 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Entediado (1) x excitado (5).....	74
Figura 23 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Estressado (1) x relaxado (5).....	75
Figura 24 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Nervoso (1) x calmo (5).....	75
Figura 25 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Irritado (1) x tranquilo (5).....	75
Figura 26 -	Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Inseguro (1) x seguro (5).....	76
Figura 27 -	Questionário Etapa 1 – Questão 5.....	77
Figura 28 -	Questionário Etapa 1 – Questão 6.....	78
Figura 29 -	Questionário Etapa 2 – Questão 1.....	79
Figura 30 -	Questionário Etapa 2 – Questão 2.....	80
Figura 31 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Distraído (1) x atento (5).....	81
Figura 32 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Descomprometido (1) x engajado (5).....	81
Figura 33 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Frustrado (1) x satisfeito (5).....	82

Figura 34 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Entediado (1) x excitado (5).....	82
Figura 35 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Estressado (1) x relaxado (5)	82
Figura 36 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Nervoso (1) x calmo (5)	83
Figura 37 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Irritado (1) x tranquilo (5)	83
Figura 38 -	Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Inseguro (1) x seguro (5)	83
Figura 39 -	Questionário Etapa 2 – Questão 5.....	85
Figura 40 -	Questionário Etapa 2 – Questão 5.....	86
Figura 41 -	Questionário final – Questão 1	87
Figura 42 -	Questionário final – Questão 2	87
Figura 43 -	Questionário final – Questão 3	88
Figura 44 -	Questionário final – Questão 4	89
Figura 45 -	Questionário final – Questão 5	90
Figura 46 -	Questionário final – Questão 6	90
Figura 47 -	Questionário final – Questão 7	91
Figura 48 -	Questionário final – Questão 8	91
Figura 49 -	Questionário final – Questão 9	92
Figura 50 -	Questionário final – Questão 10	93
Figura 51 -	Gráfico para demonstração dos períodos escolhidos	95
Figura 52 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural <i>engg</i>	104
Figura 53 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural <i>excg</i>	104
Figura 54 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural <i>frug</i>	105
Figura 55 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural <i>medg</i>	105
Figura 56 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para o tempo de reação.	106
Figura 57 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para a medida neural <i>engg</i> na Etapa 1.....	107
Figura 58 -	<i>Boxplots</i> para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para a medida neural <i>engg</i> na Etapa 2.....	107

Figura 59 -	Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para o tempo de reação na etapa 1.....	108
Figura 60 -	Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para o tempo de reação na etapa 2.....	108
Figura 61 -	<i>Script</i> para normalização em <i>R</i>	114
Figura 62 -	<i>Script</i> para remoção de <i>outliers</i> em <i>R</i>	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das técnicas de neuroimagem.	34
Tabela 2 - Ritmos do EEG.	37
Tabela 3 - Resumo dos trabalhos selecionados para revisão sistemática.	51
Tabela 4 - Regras de agregação/fusão para 2 entradas.	56
Tabela 5 - Informações gerais sobre as medidas registradas.	97
Tabela 6 - Taxa de acerto e erro por nível de dificuldade.	98
Tabela 7 - Taxa de acerto por participante entre etapas.	99
Tabela 8 - Respostas subjetivas.	99
Tabela 9 - Respostas subjetivas (continuação).	100
Tabela 10 - Níveis gerais para características neurais por participante e etapas.	101
Tabela 11 - Matriz de correlação de Person para verificação de multicolinearidade ...	111
Tabela 12 - Variáveis selecionadas e poder de explicação para modelos por participante.	115
Tabela 13 - <i>Valor-p</i> e R^2 para modelo com tempo de reação por participante.	116
Tabela 14 - Adequação de objetivos do trabalho.	119

LISTA DE SIGLAS

Área Abaixo da Curva (AUC)
Brain-Computer Interface (BCI)
Eletrocorticografia (ECoG)
Eletroencefalograma (EEG)
Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA)
Espectrometria Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS)
Evento Relacionado à Dessincronização (ERD).
Evento Relacionado à Sincronização (ERS)
Event-Related Potential (ERP)
Interface Cérebro-Computador (ICC)
Interface Cérebro-Computador Colaborativa (ICCc)
Interface Cérebro-Computador Híbrida (ICCh)
Interface Cérebro-Máquina (ICM)
Magnetoencefalografia (MEG)
Potenciais Visuais Evocados (PVE)
Potencial de Ação (PA)
Rapid Serial Visual Presentation (RSVP)
Ressonância Magnética Funcional (fMRI)
Sistema Nervoso Central (SNC)
Sistema Nervoso Periférico (SNP)
Slow Cortical Potentials (SCP)
Tomada de Decisão (TD)
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
Visual Evoked Potentials (VEP)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Motivação	16
1.2. Questão de pesquisa e hipóteses	18
1.3. Objetivos.....	19
1.4. Principais contribuições	19
1.5. Organização do volume.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso	21
2.2. Tomada de Decisão.....	24
2.3. Interface Cérebro-Computador.....	29
2.3.1. Partes Fundamentais	31
2.3.1.1. Aquisição de sinal.....	32
2.3.1.2. Processamento de sinal.....	39
2.3.1.3. Dispositivos de saída	40
2.3.2. Tipos de ICCs Baseadas em EEG	41
2.3.2.1. Potencial cortical lento	41
2.3.2.2. Eventos relacionados à sincronização e dessincronização	41
2.3.2.3. Ritmos sensório-motores	42
2.3.2.4. Potenciais visuais evocados	42
2.3.2.5. P300 potenciais evocados	43
2.3.3. ICC Híbrida.....	43
2.3.4. ICC Colaborativa	44
3. REVISÃO SISTEMÁTICA	48
3.1.1. Estratégias de busca	48
3.1.2. Execução e Extração.....	49
3.1.3. Resultados	50

4.	METODOLOGIA DE ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	58
4.1.	Sujeitos da pesquisa.....	59
4.2.	Coleta dos dados e instrumentos	59
4.3.	Tarefa	63
4.4.	Procedimentos.....	66
4.5.	Estudo piloto.....	67
5.	ANÁLISE DOS DADOS	69
5.1.	Perfil dos participantes	69
5.2.	Questionário Etapa 1	70
5.3.	Questionário Etapa 2.....	78
5.4.	Questionário final.....	86
5.5.	Relação entre medidas e respostas	94
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
6.1.	Alterações.....	119
6.2.	Trabalhos Futuros	119
6.3.	Lições Aprendidas	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

1. INTRODUÇÃO

Interface Cérebro-Máquina (ICM) ou Interface Cérebro-Computador (ICC) é um sistema computacional capaz de estabelecer a comunicação entre a atividade neurofisiológica e um computador [WOL07]. Conforme [LEU09], um dispositivo de ICC pode decodificar a atividade cerebral e criar um caminho de comunicação alternativo aos nervos e músculos periféricos. Aplicações baseadas em ICC aceitam comandos voluntários diretamente do cérebro humano, sem a necessidade de movimento físico [DON00]. E, a partir desses comandos, podem controlar computadores e membros robóticos, por exemplo.

Uma ICC mede, diretamente, a atividade cerebral associada à intenção do usuário, e traduz em sinais de controle, que são detectados e interpretados por aplicações. Tipicamente, uma ICC deve registrar a atividade diretamente do cérebro, possuir *feedback*, executar em tempo real e ser controlada pela iniciativa voluntária do usuário [GRA10]. Uma ICC convencional é basicamente composta por partes funcionais, que são os dispositivos de aquisição de sinal, que registram a atividade neurofisiológica através de neuroimagem, o processamento de sinal, que extrai características do sinal registrado e classifica-os, e os dispositivos de saídas, que são programas de computador ou componentes mecânicos que são controlados.

No que diz respeito a aquisição de sinal, a área de ICC divide-se basicamente em dois grupos: as invasivas e as não invasivas. A técnica invasiva implanta eletrodos no córtex, via cirurgia intracraniana, que registram os sinais com grande precisão e qualidade. As ICCs não invasivas baseiam-se nos sinais de eletroencefalograma (EEG), que é um dispositivo que distribui eletrodos pelo escalpo e, através deles, realiza o registro da atividade eletrofisiológica do cérebro. Através desses sinais é possível gerar atividade computacional [LEB06].

De modo geral, os sinais que o EEG capta são provenientes de correntes elétricas da atividade do córtex cerebral. Essas correntes são produzidas pelo somatório dos Potenciais Pós-Sinápticos Inibitórios e Excitatórios destes milhares ou milhões de neurônios. É preciso ressaltar que as atividades de Potenciais de Ação individuais não contribuem diretamente no registro eletroencefalográfico [TAT08]. As correntes geradas no córtex cerebral são conduzidas através de três meninges, do fluído cefalorraquidiano, do osso craniano e do escalpe até chegarem aos eletrodos que registram esta atividade. Desta

maneira, dois pontos são relevantes: geração de ruídos e o sinal adquirido é resultado de várias zonas excitadas [BEN08].

Além do objetivo inicial, que visava a reabilitação motora e cognitiva do ser humano, outras pesquisas visam, através de uma ICC, aumentar a capacidade humana. Por um lado, treinamentos com *biofeedback* na área militar são usados para aumentar o engajamento em tarefas com cargas mentais altas. Por outro lado, estudos visam melhorar o desempenho motor humano, enviando comandos de controle decodificados diretamente do cérebro sem o atraso da atividade muscular [WAN11a][WAN11b].

Apesar disso, um dos principais fatores das ICCs, que aumentam a capacidade humana ainda não ter atraído muita atenção, são os limites das técnicas de medição e processamento de sinais de EEG em um ambiente real. Um dos principais problemas de um EEG em um ambiente real é a baixa relação sinal-ruído, o que pode ocasionar uma baixa exatidão na classificação dos sinais cerebrais, fazendo com que outras modalidades de entrada, como teclados adaptados, comandos por voz, entre outros, sejam alternativas mais precisas para a maioria das aplicações [WAN11b]. Entretanto, diferentemente de outras interfaces, as ICCs não dependem exclusivamente da atividade muscular [GRA10].

Uma alternativa adotada para melhorar a precisão em um sistema ICC é a utilização de vários ensaios, ou seja, o usuário deve demonstrar diversas vezes e sequencialmente a intenção à um comando para que o mesmo seja executado. No entanto, em ambientes onde a operação em tempo real é necessária, a execução de múltiplos ensaios não é prática. Com isso, uma alternativa válida para estes ambientes é a combinação da intenção de múltiplos sujeitos, de forma paralela [WAN11b].

Com a finalidade de melhorar a performance, aumentar a precisão, reduzir erros e superar as desvantagens das ICCs convencionais, duas abordagens são propostas na literatura. A primeira é chamada de ICC híbrida (ICCh), que consiste na combinação de dois ou mais tipos de ICC, duas ou mais técnicas de aquisição de sinal, ou ainda, da combinação de uma ICC com outras técnicas de interação não baseadas em ICC [WOL07][NIC12][AMI13][PFU10]. Como exemplos, podem ser citados: a utilização de duas técnicas de aquisição de sinal, EEG e *Functional near-infrared spectroscopy* [YIN15]; a combinação de uma técnica de ICC com Eletromiografia [LIN15]; ou ainda, a combinação duas técnicas diferentes de ICC, como ERD e SSVEP [PFU10].

A outra abordagem é chamada de ICC Colaborativa (ICCc), que integra a atividade cerebral de um grupo de indivíduos com a finalidade de melhorar a classificação ou

aumentar a capacidade humana. Similar a uma ICC convencional, um sistema de ICC colaborativo possui partes fundamentais para seu funcionamento, tais como a aquisição e o processamento de sinal. Primeiramente, os sinais cerebrais de um grupo de usuários são adquiridos por vários dispositivos de gravação, e, em seguida, são sincronizados com eventos ambientais comuns entre os usuários. Após isso, ocorre o processamento dos dados coletados, a fim de extrair as características para decodificar as intenções dos usuários. E, por fim, os recursos extraídos são traduzidos para comandos de operação. Desta forma, tem-se os seguintes desafios do projeto de uma ICC colaborativa. Em primeiro lugar, são necessários múltiplos registros de sinais cerebrais, e estes precisam trabalhar de forma independente e simultaneamente. Após, os dados necessitam ser recebidos e sincronizados com os eventos comuns a todos os usuários. E, finalmente, o processo deve ser executado em tempo real. Desta maneira, o sistema pode ser implementado utilizando um paradigma centralizado ou distribuído [WAN11b].

Uma das preocupações da área de ICC é a aplicação destes sistemas em ambiente real. Quando, por que, com quem, com qual finalidade, em que local e como utilizá-las devem estar no escopo das decisões sobre seu uso. Desta maneira, é necessário encontrar tarefas do cotidiano dos seres humanos que possam se beneficiar com o uso das ICCs. A Tomada de Decisão (TD) é assunto em pauta nas áreas da Economia e Administração [CHI00], Psicologia [DAM94], e outras. Além de ser uma tarefa do dia-a-dia, demonstra em muitos casos, problemas complexos, principalmente quando ocorre risco ou incerteza [BAH10]. Uma forma de minimizar esses casos, são as TD em grupo. Porém, algumas pesquisas demonstram que nem sempre a comunicação é um aliado desse processo [MAN02]. Recentemente, pesquisas na área de neurociência começaram a demonstrar interesse no entendimento da TD. Pesquisas nesta área, utilizando neuroimagem, demonstram que áreas do cérebro são ativadas no processo de TD [HAG06].

1.1. Motivação

A principal relação do tema escolhido está na experiência acadêmica do autor deste trabalho. Durante a graduação, como trabalho de conclusão de curso, desenvolveu um simulador de cadeira de rodas virtual, no unity3d [UNI16], comandado pelo Neurosky Mindwave [NEU16], uma EEG de baixo custo e portátil. Para isso, foi utilizado o piscar dos olhos para controlar uma interface com um sistema de varredura. Isso possibilitou um

grande aprendizado sobre o tema e sobre a ferramenta Unity3D. Algumas publicações foram geradas [SCH16].

No ano seguinte a conclusão do curso, dedicou-se como coorientador em um trabalho de conclusão de curso (TCC), onde foi desenvolvido um software para catálogo de medidas neurofisiológicas para uso geral com EEGs portáteis, a ser utilizado em avaliações de software. Isso possibilitou um aprendizado sobre a problemática de registro, armazenamento e sincronização dos dados [PIF14][PIF15].

Em sequência, coorientou outro TCC que tinha como objetivo analisar o impacto de jogos digitais no aprendizado de sequências seriais e funções executivas. Além de aprofundar o conhecimento sobre Psicologia Cognitiva, obteve conhecimento sobre o uso do Tempo de Reação como medida comportamental, sendo possível demonstrar através da mesma, a melhora na execução da atividade nos participantes que utilizaram um jogo baseado em uma sequência serial [ADA16]. Neste mesmo ano, acompanhou um TCC orientado por sua orientadora. Neste, foi desenvolvido um áudio game controlado pelo Emotiv EEG [EMO16]. Neste sentido, discussões sobre a possibilidade de utilização de ICC em jogos *multiplayer*, colaborativos, se iniciaram. Num aprofundamento teórico, chegou-se a área de Interface Cérebro-Computador Colaborativa.

Ao mapear a área, notou-se que a maioria dos estudos ainda se tratam de investigações a baixo nível, não sendo demonstrados ambiente complexos. Entretanto, os resultados eram promissores. Por outro lado, apenas uma pesquisa utilizava características já processadas por um EEG de baixo custo [STO12]. Neste sentido, percebeu-se uma *gap* de pesquisa que poderia ser explorado.

Neste sentido, acredita-se que esta tecnologia num futuro possibilitará benefícios nas tomadas de decisões em situações críticas. Pode-se citar como exemplo um júri, onde diversas pessoas, ao mesmo tempo, dão seus votos sobre uma determinada pena. Cada votante tem uma compreensão diferente da situação, e por muitas vezes, pode estar em dúvida, seja pelo fato de não ter percebido algum ponto importante, ou não ter chegado a uma conclusão. Cada voto poderia ser ponderado baseado no estado mental do indivíduo.

Outra abordagem poderia ser na telemedicina, no qual diversos especialistas poderiam opinar, na escolha ou não da execução de determinado procedimento em uma cirurgia. Na área do entretenimento, um jogo baseado em ICCc poderia fazer com que os participantes tivessem que aumentar o mesmo sentido, como o nível de atenção, para que,

somente em conjunto, pudesse ser realizado o objetivo. Estes são alguns dos exemplos de aplicação desta tecnologia.

1.2. Questão de pesquisa e hipóteses

A questão de pesquisa que motivou a realização desta pesquisa foi verificar **quais as relações entre medidas neurais e comportamentais com as tomadas de decisão, sejam elas corretas ou erradas.**

Desta forma, surgiram as seguintes hipóteses:

Quanto mais engajados estão os participantes maior será a taxa de acerto deles?

Durante a execução de uma tomada de decisão é imprescindível que o usuário esteja atento e engajado, uma vez, que qualquer distração, pode ocasionar perda de informação. Os valores amostrados pelo *Emotiv* para a característica de engajamento, refletem na tomada de decisão, correta ou incorreta, do participante?

Quanto menos estressados estão os participantes maior será a taxa de acerto deles?

Durante a tomada de decisão, o participante pode sentir-se desconfortável com o desafio proposto, principalmente nas tarefas com maior nível de dificuldade, o que pode atrapalhar o seu desempenho. Os valores amostrados pelo *Emotiv*, para a característica de excitação, refletem na tomada de decisão, correta ou incorreta, do participante?

Quanto mais insatisfeitos e frustrados os usuários estão menor será a taxa de acerto deles?

Durante a tomada de decisão, o participante pode-se sentir insatisfeito, e, com isso, perder motivação para a execução da tarefa, atrapalhando seu desempenho. Ou, ainda, logo após a tomada de decisão, por motivo de incerteza ou por ter tomada a decisão de maneira equivocada, seu nível de frustração pode aumentar. Os valores amostrados pelo *Emotiv* para a característica de frustração, refletem na tomada de decisão, correta ou incorreta, do participante?

Quanto mais tranquilos os usuários estão maior será a taxa de acerto deles?

Durante a tomada de decisão, o participante que se mantém calmo pode agir com menos impulso, e, assim, tomar melhores decisões. Os valores amostrados pelo *Emotiv* para a característica de meditação, reflete na tomada de decisão, correta ou incorreta, do participante?

Quanto mais rápido os usuários respondem maior será a taxa de acerto deles?

Durante a tomada de decisão, o participante que possui conhecimento/entendimento do desafio, possuindo um nível de certeza elevado, toma decisões mais rapidamente, do que o usuário que está em dúvida. O tempo de reação pode revelar a confiança do usuário na tomada de decisão. No estudo de [POL14], o uso do tempo de reação apresentou melhora na taxa de acerto nas tomadas de decisão de sua ICCc. Desta forma, será que na tarefa proposta, o tempo de reação que o usuário necessita para tomar a decisão, reflete na sua tomada de decisão, correta ou incorreta?

1.3. Objetivos

O objetivo geral e os objetivos específicos deste estudo são:

Objetivo geral:

Verificar se medidas neurais e comportamentais possuem relação com as tomadas de decisão corretas e erradas.

Objetivo específicos:

- Desenvolver uma tarefa de tomada de decisão computadorizada.
- Desenvolver um ambiente para coleta de medidas neurais e comportamental.
- Avaliar a relação entre medidas neurais e comportamental com as respostas subjetivas sobre percepção na execução da tarefa.
- Identificar se existe relação entre as medidas neurais e comportamental com a tomada de decisão correta ou incorreta.

1.4. Principais contribuições

Como contribuições, pode-se citar o mapeamento da área de ICC realizado na revisão sistemática deste trabalho. Ressalta-se que o estudo bibliográfico realizado à época não informou trabalhos semelhantes.

Além disso, este trabalho visa identificar a relação entre medidas neurais e comportamentais com as tomadas de decisão realizadas por participantes, com a finalidade de propor um método de junção para uma ICC Colaborativa e híbrida. Para isso, utilizou-se o *Emotiv EEG* como aquisição de sinais, e seu módulo *Affective Suite*, para extrair as medidas neurais. Além disso, utilizou-se de análise estatística multivariada, para avaliar a relação entre as medidas neurais e comportamentais com as decisões tomadas. Este

objetivo é inovador, uma vez que, na revisão da literatura, não foram encontrados trabalhos que utilizassem de tais características.

Uma tarefa baseada em [POL14] foi desenvolvida e avaliada, confirmando sua proposta inicial. Juntamente, um ambiente de registro das medidas neurais e comportamentais foi desenvolvido, o que possibilitou que fossem sincronizados o registro das medidas neurais e comportamentais e a tarefa proposta.

Ressalta-se que o estudo apresentado foi aceito para ser publicado na conferência HCII 2017 – *Human-Computer Interaction International Conference 2017*, com o título de *Design of a decision-making task for a Collaborative and Hybrid Brain-Computer Interface System Based in the Emotiv EPOC*.

1.5. Organização do volume

Este trabalho está organizado da seguinte maneira:

No segundo capítulo é apresentado a fundamentação teórica, que inclui princípios básicos sobre neuroanatomia e neurofisiologia do sistema nervoso, conceitos importantes para o entendimento do funcionamento de uma Interface Cérebro-Computador. Ainda, é apresentado conceitos sobre tomada de decisão, incluindo características de um modelo de tarefa. Após, é apresentando os conceitos e características de uma ICC, incluindo ICC Híbrida e ICC Colaborativa.

No terceiro capítulo é apresentado uma revisão sistemática sobre ICC colaborativa, que tem como objetivo compreender como pesquisas desta área estão sendo conduzidas, afim de aprofundar os conhecimentos. No quarto capítulo é apresentado a metodologia de pesquisa, incluindo amostragem, instrumentos de coleta de dados, a tarefa desenvolvida, os procedimentos e um estudo piloto.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os resultados, tanto dos questionários como da análise estatística realizada, que teve como principal objetivo, responder o objetivo “Identificar se existe relação entre as medidas neurais e comportamental com a tomada de decisão correta ou incorreta”. Por fim, são realizadas as considerações finais, as alterações realizadas durante a pesquisa, trabalhos futuros e lições aprendidas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as referências na qual se baseia esta pesquisa, de forma a também esclarecer e justificar o problema de pesquisa e as decisões tomadas para alcançar os objetivos e discutir os resultados alcançados.

2.1. Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso

Em um primeiro olhar sobre o sistema nervoso do corpo humano, pode-se identificar estruturas nervosas, que se localizam dentro do crânio e coluna vertebral, que recebem coletivamente o nome de Sistema Nervoso Central (SNC), e outras distribuídas pelo organismo, que recebem o nome de Sistema Nervoso Periférico (SNP) [LEN04].

Fazem parte do SNP, os nervos, que podem ser encontrados em várias partes do corpo. De uma maneira geral, esses são responsáveis por realizarem a comunicação de informações sensitivas, motoras, somáticas e viscerais para o SNC. Essas informações são transmitidas pelas fibras nervosas por meio de impulsos elétricos [LEN04][BEA07]. São chamados de aferentes os nervos que levam informações da periferia do organismo para o SNC, e eferentes os que têm funcionamento inverso [GUY93]. Analogamente às máquinas, pode-se compreender o SNP como sendo o conjunto de sensores, cabos e periféricos [LEN04]. O SNP é importante para diversos tipos de ICCs, que dependem destes sensores e nervos para levar informações até o cérebro, que por sua vez, serão identificadas pela ICC.

Com relação ao SNC, esse é formado pelo encéfalo e pela medula espinhal. Intitula-se encéfalo toda a parte localizada dentro da caixa craniana e a parte que se estende do encéfalo pelo interior da coluna vertebral trata-se da medula espinhal. O encéfalo é compreendido pelas seguintes partes: o cérebro, o cerebelo e o tronco encefálico [LEN04][BEA07]. No cérebro, a camada mais externa é chamada de córtex, local onde há a maior concentração de neurônios, considerado a unidade funcional de informação do sistema nervoso. Os neurônios exercem suas atividades em conjunto, que recebem o nome de circuito ou redes neurais. Como toda célula, o neurônio possui uma membrana plasmática que envolve as organelas, as mitocôndrias, o retículo endoplasmático, entre outras. A principal característica que diferencia o neurônio das demais células é o potencial de ação (PA). Este é um sinal elétrico que ocorre muito rapidamente e possui natureza digital, assim como os computadores. O PA confere ao neurônio a possibilidade de transmitir informação,

uma vez que ele pode ser emitido em função de estímulos internos ou externos à célula [LEN04].

O neurônio possui dendritos e axônio, e são através deles que o potencial de ação se propaga pelos chamados circuitos ou redes neurais. De uma forma básica, o impulso nervoso chega pelo dendrito, este leva o impulso até a soma, onde ocorre um novo potencial de ação, então o impulso elétrico é propagado pelo axônio que leva a informação até os dendritos do próximo neurônio. A grande questão é que, de uma maneira geral, os axônios não se ligam fisicamente aos dendritos, pois existe uma separação chamada de fenda sináptica. O que ocorre, neste caso, é um processo chamado de sinapse [GUY93].

Na extremidade do axônio existem as vesículas sinápticas. Essas possuem a característica de, ao serem estimuladas por um impulso elétrico vindo do PA, liberarem neurotransmissores. Estes são absorvidos por receptores localizados nos dendritos do outro neurônio, que novamente geram um novo impulso, este que chegará ao corpo da sua célula, que disparará um novo PA, e assim por diante. Neste sentido, o potencial elétrico que ocorre antes da sinapse é chamado de potencial pré-sináptico, e aquele que ocorre após é chamado de pós-sináptico. Estes impulsos podem ser excitatórios ou inibitórios [GUY93]. São essas as atividades que podem ser captadas por neuroimagem e que serão tratadas em uma ICC.

Entender a localização do processamento da informação no cérebro é importante para uma ICC porque influencia na escolha do método adequado do sistema de aquisição de sinais.

A Figura 1 apresenta divisões do córtex a partir de uma visão lateral. Nessa, podemos observar que a área motora se encontra à frente do sulco central, na região posterior do lobo frontal. Possui três divisões: o córtex motor, o córtex pré-motor e a área de Broca. O córtex motor é responsável pelo controle dos músculos específicos, especialmente aqueles que empenham movimentos mais detalhados, como, por exemplo, os dedos da mão; o córtex pré-motor, responsável pelos movimentos coordenados. É nessa região que fica gravada a maior parte dos conhecimentos de controle dos movimentos dependentes de habilidade; e a área de Broca, que controla os movimentos para a fala. Essa funciona em somente um dos hemisférios, sendo o direito utilizado em 19 de 20 pessoas [GUY93].

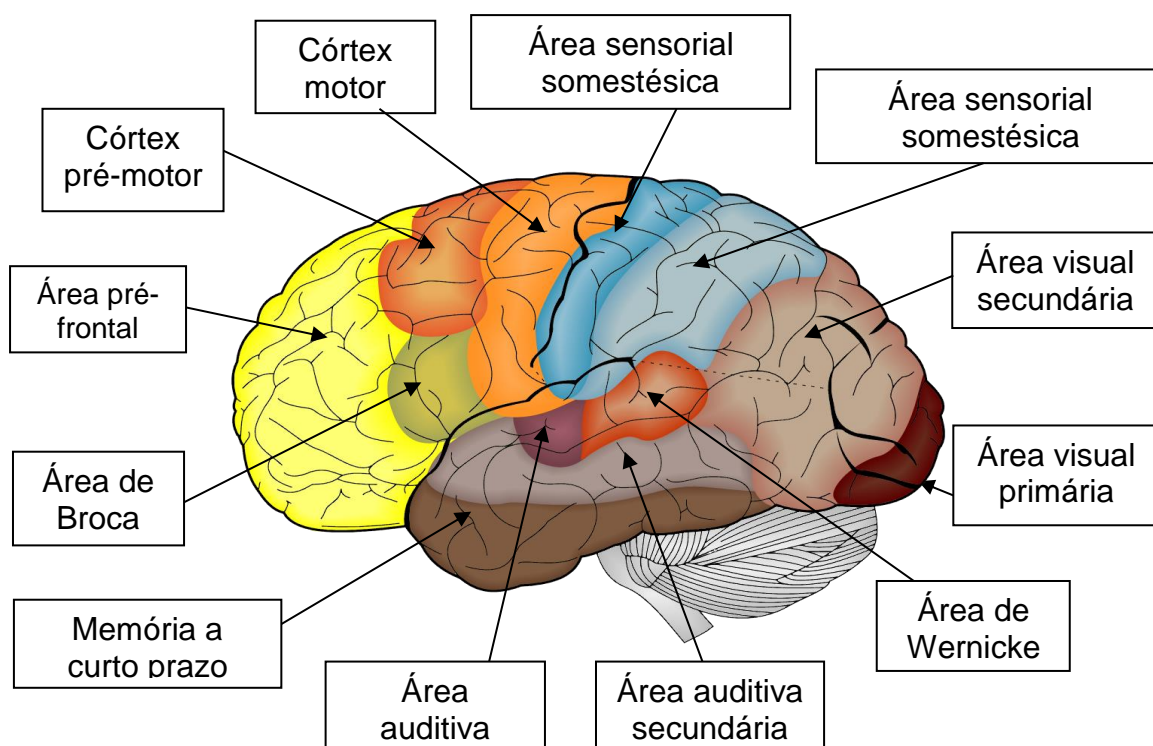


Figura 1 - Divisões do córtex cerebral humano.

Autor: Do autor, adaptada de [GUY93].

Todas as sensações somestésicas, ou seja, aquelas oriundas do corpo, como tato, temperatura e dor, estão ligadas a área sensorial de mesmo nome. Esta ocupa todo o lobo parietal, e é subdividida em duas áreas: a primária, que recebe diretamente os sinais originários do corpo, onde é efetuada a diferenciação destes; a secundária, que recebe a informação já diferenciada da área primária, e é responsável pela interpretação dos sinais [GUY93][BEA07].

A área visual ocupa todo o lobo occipital e, assim como as outras, é dividida nas seguintes partes: a área primária, que tem como função detectar pontos iluminados ou escuros, e também reconhecer linhas e contornos; a área secundária, que é responsável pela interpretação da informação visual, como, por exemplo, a interpretação de palavras escritas. A área auditiva fica localizada no lobo temporal, e possui duas divisões: a primária, onde são detectados sons específicos, timbre e outras características do som; a área secundária, responsável pela interpretação das palavras faladas [GUY93].

A área de Wernick localiza-se no lobo temporal, faz fronteira com os lobos parietal e occipital, e é nessa região que sinais sensoriais dos três lobos se juntam. Com isso, é de extrema importância para a interpretação do significado final de quase todos tipos de informação sensorial. Desenvolve-se unilateralmente, normalmente do lado esquerdo, e

isso ocorre a fim de impedir a confusão dos processos entre os hemisférios. A área de memória a curto prazo, no lobo temporal, tem importância principalmente pelo armazenamento de memória, que perduram de minutos a várias semanas. A área pré-frontal fica localizada no lobo frontal, e é considerada como importante para a elaboração do pensamento. A capacidade de concentração, atenção e resolução de problemas intelectuais estão ligadas a esta região [GUY93].

Neste capítulo foram apresentadas as bases anatômicas e fisiológicas do sistema nervoso, conteúdo necessário para o entendimento do restante do trabalho, uma vez que muitos dos termos, localizações e funções podem ser mencionados. O próximo capítulo traz uma visão geral sobre o processo de tomada de decisão.

2.2. Tomada de Decisão

A tomada de decisão (TD) faz parte do cotidiano das pessoas. Inclui ações das mais simples ou imediatas, como escolher a cor da camiseta que será utilizada para ir ao trabalho, quanto as mais complexas ou a longo prazo, como decidir ter filhos. Geralmente as decisões são tomadas com o intuito de maximizar os ganhos e minimizar as perdas. Conforme [LAC07], TD é o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo. A seguir são apresentadas as cinco fases de TD [MAX09]:

- **Identificação do problema ou oportunidade:** a TD tem início em situações de frustração, interesse, desafio, curiosidade ou irritação. Sempre existe um objetivo e uma tarefa a ser executada para atingi-lo.
- **Diagnóstico:** procura-se entender o problema ou oportunidade e identificar suas causas ou consequências. A dificuldade na identificação depende do conhecimento prévio sobre o assunto.
- **Geração de alternativas:** são geradas as alternativas de solução, que podem vir acompanhadas do problema ou não. Muitas vezes esta etapa exige criatividade para gerar novas ideias.
- **Escolha da alternativa:** as alternativas são avaliadas, julgadas e comparadas, permitindo selecionar a com maiores vantagens.
- **Avaliação da decisão:** a decisão é tomada e sua reação é avaliada. Ainda, o ciclo decisório é reiniciado.

Mintzberg [MIN76], por sua vez, define a estrutura básica da tomada de decisão dividida em três fases: a **Identificação**, na qual oportunidades, problemas e crises são identificados e procura-se compreender e definir o relacionamento causa-efeito da situação, o **Desenvolvimento**, onde são procuradas soluções prontas ou a formulação de novas soluções, e a **Seleção**, onde são selecionadas e avaliadas as alternativas desenvolvidas, e assim, são autorizadas a serem executadas, havendo o contínuo controle da decisão.

Em todo processo decisório, há, no mínimo, cinco elementos que compõem uma decisão [MAX09]:

- **O tomador da decisão:** é o indivíduo ou grupo de indivíduos que toma a decisão.
- **Objetivos:** são os objetivos que o tomador de decisão deseja alcançar.
- **O sistema de valores:** são os critérios utilizados pelo tomador para decidir sua escolha.
- **Estados da natureza:** são os aspectos do ambiente que afetam as escolhas do tomador de decisão.
- **Consequências:** representam os efeitos das decisões tomadas.

As decisões podem ser **programáveis**, que são tomadas pelas regras e procedimentos já conhecidos, ou **não programáveis** (ou imprevisíveis), que possuem novidades e necessitam de improvisos, busca por dados e alternativas, até a escolha da melhor solução [SIM70].

Chiavenato [CHI00] destaca que há três condições onde as decisões podem ser tomadas, na incerteza, no risco e na certeza. Na condição de **incerteza**, o tomador de decisão possui pouco ou nenhum conhecimento como base para atribuir probabilidades as alternativas. Na situação de **risco**, o tomador de decisão possui as informações necessárias para a tomada de decisão, porém, a qualidade da informação e sua interpretação podem variar amplamente, e dependendo do sujeito, pode-se atribuir diferentes probabilidades conforme seu conhecimento prévio. Na condição de **certeza** o tomador de decisão possui completo conhecimento dos resultados e consequências das diversas alternativas, sendo a decisão mais fácil a se tomar, porém, é considerada uma situação excepcional.

Nonohay [NON12], por sua vez, considera três dimensões para a TD, que são descritas como segue: a **importância** que se dá a uma opção em detrimento a outras; a

velocidade da TD, pois existe diferença entre uma decisão tomada em emergência em relação a outra onde existe o planejamento; e o **grau de individualidade**, se a TD foi individual ou em grupo.

Neste sentido, anos de pesquisas demonstram que nos mais diversos contextos, as decisões tomadas em grupo podem ser superiores comparadas com decisões individuais. Contudo, em alguns casos, a decisão em grupo pode trazer desvantagens, como a dificuldade de coordenação e interação entre os membros do grupo, redução de esforços de alguns membros do grupo, forte liderança e vieses de julgamento do grupo [POL13b].

Portanto, boas decisões em grupo são mediadas pela comunicação entre os membros do grupo, onde existe a troca de pareceres. Entretanto, Bahrami et al. [BAH10] demonstram que em alguns casos, quando existe limitação de tempo ou se a liderança prevalece, a comunicação livre entre os participantes que pensam de maneiras diferentes pode ser um obstáculo.

Para a psicologia cognitiva, a tomada de decisão é considerada uma função cognitiva fundamental para uma interação satisfatória de um indivíduo em seu contexto social. Ainda, é definida como a capacidade de escolher uma opção entre diversas alternativas, partindo do princípio que o indivíduo utiliza a lógica formal para melhor solucionar os problemas [CAR13].

Os modelos teóricos sobre TD são normalmente descritivos, baseados na observação do comportamento do tomador de decisão durante o processo. Em outra frente, a neurociência e psicologia cognitiva vem desenvolvendo estudos voltados a compreensão dos mecanismos neurais responsáveis pelas escolhas. Estudos demonstram estreitas relações entre o desempenho de tarefas que envolvem tomada de decisão e a ativação de áreas do sistema nervoso registradas por neuroimagem [CES11].

Neste sentido, [DAM94] sugeriu a teoria dos marcadores somáticos, que são todas as mudanças vegetativas musculares, neuroendócrinas ou neurofisiológicas que contribuem para uma TD mais vantajosa a longo prazo. Desta maneira, todos marcadores somáticos aprendidos nas experiências passadas, atuam como sinais de alerta não conscientes, melhorando a precisão e antecipando consequências possíveis de uma ação.

De maneira geral, estudos de TD na neurociência procuram verificar em tempo real como uma pessoa pensa durante suas decisões, o que traria implicações positivas inimagináveis no processo decisório. Todavia, estes estudos demonstram também que a concretização disso ainda está longe, e normalmente são muito criticados no que diz

respeito à aplicação de seus resultados em ambiente real. Fatores que contribuem para isso [CES11]:

1. O processo de TD é extremamente complexo.
2. Envolve avaliação de riscos e benefícios.
3. Recruta diversos processos cognitivos que estão relacionados entre si.
4. Envolve considerações de múltiplas alternativas e cálculos de probabilidade versus análise de possibilidades.
5. Envolve dedução das possíveis consequências futuras das escolhas.
6. Mobiliza uma grande quantidade de circuitos neurais e não pode ser facilmente atribuído a uma área específica do cérebro.
7. O processo de decisão se altera dependendo da idade de quem decide.

Alguns estudos buscam em métodos de neuroimagem, apontar regiões do cérebro responsáveis por determinadas tarefas. Como exemplo, [MAN02] estudaram pacientes com lesões em diferentes regiões do córtex pré-frontal. Em uma tarefa de tomada de decisão, os pacientes com lesões obtiveram resultados semelhantes ao grupo de controle, porém, demoravam mais para realizar a tarefa.

Hagen et al. [HAG06] verificaram em uma tarefa de seleção de alvos do tipo *oddball*, que a taxa de erros e tempo de resposta aumentavam quando a dificuldade da tarefa aumentava. Os resultados sugerem que existe um aumento da amplitude dos P3a, um tipo de sinal P300, quando a dificuldade da tarefa aumentava.

Quanto a tarefas de tomada de decisão, diversas abordagens são utilizadas, como *oddball*, *go/nogo*, entre outras. A seguir é apresentado o conceito de *Rapid Serial Visual Presentation* (RSVP), que foi aplicado na construção da tarefa desenvolvida neste trabalho.

O sistema visual humano, em condições normais, é muito superior a qualquer outro sistema computacional automatizado no que diz respeito ao processamento e interpretação de cenas visuais. Entretanto, em condições adversas, como tempo insuficiente para reconhecimento ou atenção dividida, o sistema visual humano fica longe da perfeição. Normalmente, nessas condições, os sujeitos percebem uma fração das características disponíveis, e ao se basearem nestas, faz com que tomem decisões abaixo do ideal [POL14].

Uma das técnicas que pode criar essas condições adversas a um usuário é a RSVP, largamente utilizada no estudo de ICCc, como apresentado na revisão. Como exemplo de funcionamento da RSVP, suponha que um sujeito tenha em mãos um livro que ainda não

conhece, mas a capa lhe interessou, e para realizar o reconhecimento, ele flexiona as páginas um pouco, e vai soltando uma a uma rapidamente, num movimento cascata, enquanto visualiza seu conteúdo. Provavelmente ele conseguirá perceber certas características em segundos, como, por exemplo, se existem muitas figuras ou muitas equações. Uma vez que este efeito cascata é executado rapidamente e uma sequência de páginas são visualizadas, o sujeito está experimentado uma RSVP [SPE13].

RSVP é utilizada nos mais diversos domínios de aplicação, como leitores de texto, para selecionar itens em uma coleção, operações de busca e resgate, entre outras. Na área da psicologia, diversas evidências são encontradas no uso de RSVP. Experimentos demonstram a importância do processamento pré-atencional do sistema visual humano, que, de maneira geral, permite o reconhecimento de alvos em uma imagem no prazo de 100ms, com uma taxa de acerto superior a 90%, sem nenhum esforço cognitivo. Entretanto, outros estudos mostram que 100ms são insuficientes para memorizar completamente as características de uma imagem. Com isso, [SPE13] sugere algumas situações de cuidado no uso de RSVP baseados em imagens:

- Se a tarefa tem como finalidade o reconhecimento bem definido de um alvo específico em uma imagem de uma coleção, a taxa de apresentação não deve exceder 10 imagens por segundo, sujeito a um decremento na taxa de acerto, que é de cerca de 90%;
- Se a tarefa tem como finalidade o reconhecimento bem definido de uma imagem em uma coleção, a taxa de apresentação não deve exceder 4 imagens por segundo;
- Depois de 6s após ver uma apresentação de RSVP, o utilizador não consegue lembrar de uma imagem recém exibida;
- Existe o perigo de que o fenômeno do piscar atencional comprometa o reconhecimento das imagens ou alvos.
- Alterações em cenas nem sempre podem ser notadas;
- Comportamento sacádico excessivo, ou seja, grande movimentação dos olhos na busca de um alvo, podem levar a perdas no reconhecimento de mudanças visuais.

2.3. Interface Cérebro-Computador

Antes da década de 1960, o controle de dispositivos através de ondas cerebrais era considerado ficção científica. Embora o registro de sinais do encéfalo ter ganhado atenção em 1929, com o cientista alemão Hans Berger, que registrou pela primeira vez a atividade elétrica do encéfalo, a tecnologia necessária para medir e processar esta atividade era limitada ou se quer compreendida. Esse panorama foi alterado com os estudos da área da neurociência, que permitiram um entendimento melhor do encéfalo. E, ainda, algoritmos de processamento de sinais e o poder computacional avançaram rapidamente, permitindo a análise em tempo real dos sinais eletrofisiológicos, sem a necessidade de equipamentos especiais [GRA10].

A primeira ICC foi demonstrada em 1964 por Grey Walter, quando implantou eletrodos diretamente na área motora do córtex de um paciente humano. O experimento consistiu em registrar a atividade cerebral do paciente enquanto ele pressionava um botão. Esta ação fazia com que os *slides* reproduzidos por um projetor avançassem. Depois, o cientista desenvolveu um sistema que fazia com que os *slides* fossem avançados quando a atividade cerebral do paciente indicasse que ele queria pressionar o botão. Este experimento mostrou que, além de testar o equipamento e verificar sua efetividade, também era necessário realizar um pequeno atraso na apresentação dos *slides*, pois os mesmos eram avançados um pouco antes de o usuário pressionar o botão [GRA10].

Até os anos 90, o progresso sobre o estudo das ICC era lento. Por exemplo, é citado que, no início do século XX, existiam, no mundo, em torno de 10 laboratórios de pesquisa que se dedicavam ao estudo [GRA10]. Porém, desde 1999, quando houve a primeira demonstração experimental de que um conjunto de neurônios corticais podia controlar diretamente um manipulador robótico, houve um crescimento acelerado de pesquisas sobre ICC [LEB06]. Assim, essa área de pesquisa conseguiu provar que é capaz, não somente de reabilitar, mas também de estender as capacidades do ser humano [GRA10]. Por outro lado, ICCs ainda não são totalmente convencionais, não são simples de serem usadas, assim, necessitando o aperfeiçoamento dos sistemas, sendo considerada a grande barreira das ICC [GRA10][HOW96].

O termo Interface Cérebro-Computador, do inglês *Brain-Computer Interface* (BCI), e sua definição são bem aceitos no meio científico. Apesar disso, é possível encontrar na literatura outras maneiras de descrever esta forma especial de interface [GRA10]. A seguir são apresentadas algumas definições para o termo.

Conforme Wolpaw et al. [WOL02] “*uma interface cérebro-computador direta é um dispositivo que fornece ao cérebro uma nova comunicação não-muscular e um canal de controle*”. Segundo Donoghue et al. [DON02] “*um dos principais objetivos de uma interface cérebro-máquina (ICM ou BMI brain-machine interface) é fornecer um sinal de comando a partir do córtex. Este comando serve como uma nova saída funcional para controlar partes do corpo com deficiência ou dispositivos físicos, como computadores e membros robóticos*”.

Conforme Nicolas-Alonso e Gomez-Gil [NIC12] uma ICC é “*um sistema de comunicação de hardware e software que habilita os humanos a interagir com seus arredores sem o envolvimento de nervos e músculos periféricos*”.

É sabido que qualquer forma natural de comunicação ou controle requer atividade de nervos e músculos periféricos. Uma ICC oferece um meio alternativo a comunicação natural do sistema nervoso, é um sistema artificial que contorna vias eferentes do corpo. Ela mede diretamente a atividade cerebral associada à intenção do usuário, e traduz em sinais de controle para aplicações[GRA10].

Na Figura 2 é apresentado um comparativo entre o SNC Normal e o SNC com ICC. O primeiro fluxograma da Figura 2 (Normal CNS) apresenta o SNC Normal, no qual os neurônios motores são responsáveis pela saída do SNC, ativando os músculos que geram a ação. O segundo fluxograma (CNS/BCI System) apresenta o SNC em conjunto com ICC, e a diferença está no caminho alternativo criado pela ICC, onde os neurônios corticais se tornam a saída do SNC [WOL07].

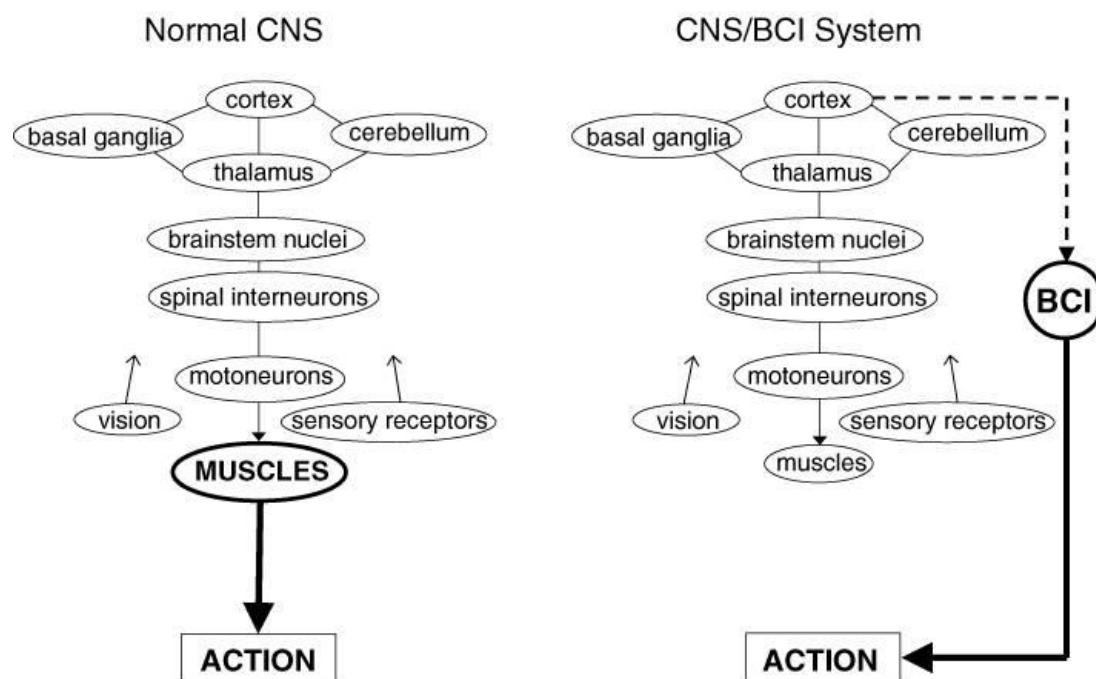


Figura 2 - Comparativo entre SNC normal (A) e com ICC (B).

Autor: [WOL07].

É importante salientar que ICCs, diferentemente de outras Interfaces, não dependem exclusivamente da atividade muscular. Isso as torna um importante dispositivo de apoio para pessoas com deficiências graves, tais como esclerose lateral amiotrófica (ELA), acidente vascular cerebral, lesão da medula espinhal, distrofias musculares, paralisia cerebral, entre outras [GRA10] [WOL07]. No caso da ELA, os movimentos voluntários são perdidos com o tempo, mas a doença não afeta funções cognitivas e sensitivas. Tipicamente, pessoas com essa patologia morrem quando a doença ataca os músculos da respiração. Atualmente, diversos dispositivos, como respiração e alimentação artificial, podem prolongar a vida do paciente, mas este se encontrará bloqueado, sem meios de comunicação com o mundo. Uma ICC é a alternativa importante de comunicação deste indivíduo com o exterior [GRA10].

2.3.1. Partes Fundamentais

Como qualquer outro sistema de comunicação ou controle, uma ICC possui partes fundamentais, e a compreensão destas partes é essencial para entender seu funcionamento. Pode-se encontrar na literatura divisões e classificações destes componentes [GRA10][WOL02][NIC12]. Entretanto, neste trabalho, será utilizado a divisão proposta por Wolpaw et. al. [WOL02]. Neste sentido, pode-se destacar os dispositivos de

aquisição de sinal, os componentes que processam a informação, e os dispositivos de saída. Na Figura 3 pode-se ver estes elementos [WOL02].

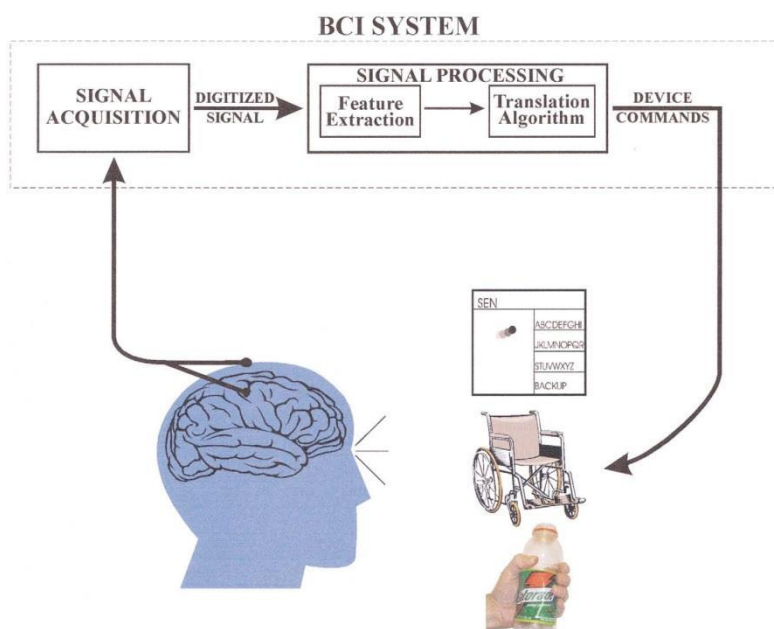


Figura 3 - Partes fundamentais de ICC.

Autor: [WOL02].

2.3.1.1. Aquisição de sinal

As ICCs utilizam sinais cerebrais para obter informação das intenções dos usuários. Desta maneira, um sistema de ICC necessita gravar, medir e traduzir estes sinais cerebrais em sinais elétricos tratáveis. Os dois tipos de atividade cerebral que podem ser monitorados são o eletrofisiológico e o hemodinâmico [NIC12].

A atividade eletrofisiológica é gerada pelas sinapses, que trocam informações entre os neurônios. Esta atividade pode ser medida por diversos métodos de neuroimagem, como a eletroencefalografia (EEG), eletrocorticografia (ECoG), magnetoencefalografia (MEG) e pela aquisição de sinais elétricos de neurônios individuais. Já as respostas hemodinâmicas têm relação com o processo em que há a liberações de glicose no sangue para os neurônios, sendo uma taxa maior para neurônios ativos em relação aos inativos. Estas alterações podem ser medidas por métodos de neuroimagem, como a Ressonância Magnética Funcional (fMRI) e a Espectrometria Funcional no Infravermelho Próximo (fNIRS). Vale ressaltar, que as medidas de resposta hemodinâmicas são caracterizadas como indiretas, pois não estão diretamente ligadas a atividade neuronal [NIC12].

A classificação sobre aquisição de sinais das ICCs também tem relação com os métodos invasivos e não invasivos. Sistemas não invasivos normalmente exploram os sinais de EEG, devido à sua elevada resolução temporal, custo relativamente baixo, portabilidade e poucos riscos ao usuário. Embora a grande vantagem de não expor o indivíduo aos riscos de uma cirurgia, sua capacidade de comunicação é limitada, uma vez que é afetada pelo couro cabeludo, de maneira que, por exemplo, dificilmente será possível controlar uma prótese de um braço com múltiplos graus de movimento. Porém, este campo apresenta a possibilidade de desenvolvimento de soluções práticas, como, por exemplo, o controle de cursor, comunicação, funcionamento do computador e o controle de cadeira de rodas. O crescente uso de ICC não invasivas vem sendo discutido em diferentes pesquisas [NIC12][LEB06].

Por outro lado, ICCs invasivas baseiam-se em registros de conjuntos de neurônios simples ou na atividade de múltiplos neurônios [LEB06]. Para isso, é necessário realizar uma cirurgia e implantar matrizes de eletrodos dentro do crânio [BER07][NIC12]. Este método possui diversas vantagens com relação ao método não invasivo. Em primeiro lugar, possui uma resolução espacial maior, eletrodos de ECoG abrangem décimos de milímetros contra centímetros no EEG. Em segundo lugar, possuem maior amplitude, frequência e largura de banda. Estes aspectos tornam as ICCs invasivas muito mais precisas. As grandes desvantagens dessa tecnologia, ainda hoje, é o alto risco da cirurgia para o implante de eletrodos, e o desgaste muito rápido dos mesmos, o que torna necessário a realização de diversas cirurgias para reposição do dispositivo [LEB06][NIC12]. Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos métodos de neuroimagem, juntamente com suas principais características.

Tabela 1 - Resumo das técnicas de neuroimagem.

Método de Neuroimagem	Atividade Medida	Direta/ Indireta	Resolução temporal	Resolução Espacial	Invasivo (Risco)	Portátil
EEG	Elétrica	Direta	~0.05 s	~10 mm	Não	Sim
MEG	Magnética	Direta	~0.05 s	~5 mm	Não	Não
ECoG	Elétrica	Direta	~0.003 s	~1 mm	Sim	Sim
Intracortical	Elétrica	Direta	~0.003 s	~0.05 mm até ~0.5 mm	Sim	Sim
fMRI	Metabólica	Indireta	~1 s	~1 mm	Não	Não
NIRS	Metabólica	Indireta	~1 s	~5 mm	Não	Sim

Autor: Do autor, baseada em [NIC12].

De acordo com a natureza dos sinais de entrada utilizados, pode-se classificar as ICCs como dependentes ou independentes. ICCs dependentes [WOL02] ou exógenas [NIC12] são aquelas que, mesmo criando uma via alternativa de comunicação do cérebro, ainda necessitam de alguma via normal para gerar a atividade cerebral. Por exemplo, uma ICC dependente que apresenta ao usuário uma matriz de letras que piscam uma de cada vez e, para o usuário selecionar uma letra basta que ele fique olhando diretamente para ela. No córtex do sujeito será registrado pelo EEG um potencial visual evocado muito maior quando a letra escolhida piscar do que quando as outras letras piscarem. Neste caso, a saída do SNC é o sinal captado pelo EEG, porém a geração do sinal depende do sistema visual periférico [WOL02].

Neste sentido, pode-se destacar como principais vantagens das ICCs dependentes a não necessidade de treinamentos extensivos, uma vez que os estímulos podem ser rapidamente configurados, a utilização de poucos canais de registro e a alta taxa de acerto. Como desvantagens pode-se citar a atenção permanente do usuário aos estímulos externos e, em muitos casos, o cansaço dos usuários [NIC12].

Em contraste, as ICCs independentes ou endógenas são aquelas que não necessitam de vias normais para enviar estímulos ao córtex. Utilizando o mesmo exemplo, apresenta-se ao usuário uma matriz de letras que piscam uma de cada vez, o usuário seleciona uma letra produzindo voluntariamente um potencial evocado P300 quando a letra

pisca. Neste caso, a saída do SNC continua sendo o sinal captado pelo EEG, porém, não mais baseado em um estímulo enviado pelo sistema visual, e sim pela intenção do usuário [WOL02][NIC12].

De acordo com a modalidade do processamento de dados de entrada pode-se classificar a ICC em síncrona ou assíncrona. ICCs síncronas ou *cue-paced* [GRA10] são caracterizadas por realizarem a análise dos sinais cerebrais em um período pré-definido pelo sistema da ICC, todos os outros sinais, normalmente, são descartados. Desta maneira, o usuário só pode enviar comandos ao sistema nestes períodos. Isto simplifica o design e avaliação de ICCs síncronas, porém, não oferece uma maneira tão natural de interação para o usuário [NIC12]. De outra maneira, ICCs assíncronas ou *self-paced* realizam a análise contínua dos sinais cerebrais, sem pré-definir um período para o usuário atuar. Este tipo de ICCs possibilita uma maneira mais natural de interação do usuário, porém, demanda maior poder computacional e complexidade [GRA10][MAI06].

A seguir, será apresentado com mais detalhes o EEG, dispositivo de aquisição de sinais que será utilizado nesta pesquisa.

Pode-se definir Eletroencefalograma (EEG) como o registro neurofisiológico da atividade elétrica do encéfalo, captada a partir de eletrodos dispostos sobre o couro cabeludo. Este dispositivo é amplamente utilizado no meio médico para detectar patologias no cérebro, como, por exemplo, distúrbios do sono e epilepsia e, em alguns casos, também para definir a morte cerebral de um paciente.

De modo geral, os sinais que o EEG capta são provenientes de correntes elétricas da atividade do córtex cerebral. Essas correntes são produzidas pelo somatório dos Potenciais Pós-Sinápticos Inibitórios e Excitatórios destes milhares ou milhões de neurônios. É preciso ressaltar que as atividades de Potenciais de Ação individuais não contribuem diretamente no registro eletroencefalográfico [TAT08].

As correntes geradas no córtex cerebral são conduzidas através de três meninges, do fluído cefalorraquidiano, do osso craniano e do escalpe até chegarem aos eletrodos que registram esta atividade. Desta maneira, dois pontos são relevantes: muitos ruídos são gerados e o sinal adquirido é resultado de várias zonas excitadas [BEN08].

Ainda, outros fatores contribuem como ruídos no sinal eletroencefalográfico e recebem o nome de artefatos. Esses podem ser fisiológicos e técnicos. Como exemplo de artefatos fisiológicos está o suor, que afeta a impedância dos eletrodos, sinais de Eletromiografia, provocados pela tensão muscular, artefatos oculares e o próprio

movimento do utilizador. Como artefatos técnicos pode-se citar interferência de equipamentos elétricos e má colocação dos eletrodos [BEN08].

A colocação dos eletrodos foi padronizada por uma organização internacional em um sistema 10-20, baseando-se em marcos anatômicos no crânio. Os locais são definidos a partir de uma divisão de três linhas em intervalos que variam de 10% a 20% do comprimento, assim como apresenta a Figura 4. Atualmente existem estudos que usam de 1 até 256 eletrodos ativos [BER07].

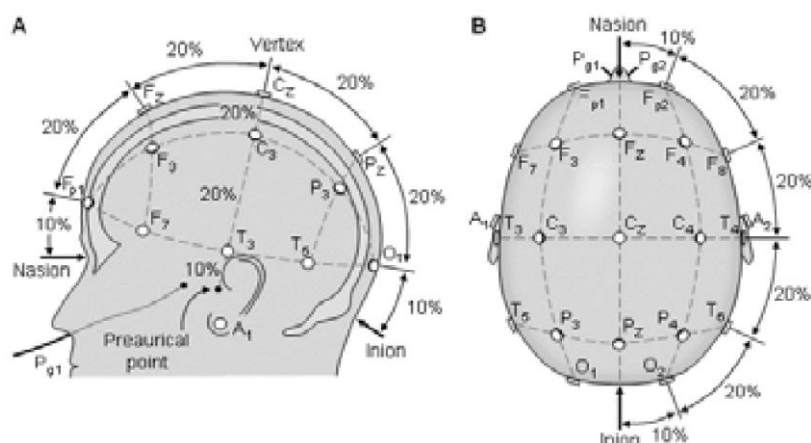


Figura 4 - Distribuição dos eletrodos conforme padrão 10-20.

Autor: [SHA10].

Ao contrário de outros sinais bioelétricos, como, por exemplo, o eletrocardiograma, o registro eletroencefalográfico é caracterizado por uma aparente irregularidade [SHA10]. Estes registros variam conforme a excitação do encéfalo, como, por exemplo, o nível de atenção, sono ou vigília, e também de certas patologias. É importante frisar que este trabalho será guiado com base em um EEG Normal, ou seja, sem avaliar e considerar possíveis doenças. Estes ritmos são classificados pela sua faixa de frequência, como: ritmos delta, teta, alfa, mu, beta e gama [NIE05]. Na Tabela 2 apresenta-se as características destes ritmos.

Tabela 2 - Ritmos do EEG.

Ritmo	Frequência	Estados mentais
Delta	< 4 Hz	Estão ligadas ao sono profundo, estado de coma e efeito de analgésicos.
Teta	4Hz – 8 Hz	Normalmente pode ser registrada na região frontal. Tem relação com estados de sonolência e sono.
Alfa	8Hz – 13Hz	Este ritmo é normalmente bloqueado quando existe algum tipo de atividade, como, por exemplo, estímulos auditivos e táteis, mas principalmente pela abertura dos olhos.
Mu	8Hz – 13Hz	Amplitude menor que do alfa, está ligado diretamente ao relaxamento da atividade motora, bloqueado pela atividade motora contralateral
Beta	13Hz – 30Hz	O sinal deste ritmo é encontrado nas regiões frontal e central. Estão associadas ao processamento de informação exterior, resolução de problemas, tomada de decisões e movimentos físicos.
Gamma	>30Hz	A presença dessas bandas destaca-se quando existe atividade cortical relacionada com alta concentração, processos mentais complexos, atividade motora e qualquer tipo de tarefa cognitiva que exija uma maior concentração.

Autor: Do autor, baseada em [TAT08] [NIE05].

Por muito tempo, o EEG foi restrito à área médica e laboratórios de pesquisa. Entretanto, empresas vem empenhando seus esforços para desenvolver dispositivos de baixo custo, a fim de possibilitar o uso à nível pessoal. Inicialmente, esses dispositivos destinavam-se ao desenvolvimento de jogos, porém, diversas pesquisas estão desenvolvendo projetos para diferentes áreas [NIC12]. Este tipo de iniciativa, além de facilitar o acesso a pesquisas, aproxima e possibilita a utilização por usuários finais em ambientes reais. As principais vantagens destes equipamentos são o baixo custo, portabilidade e suas APIs. Em contraste, possuem uma quantidade limitada de eletrodos, além da baixa taxa de leitura em comparação com dispositivos clínicos. Pode-se citar como exemplos de EEGs para o público geral o *Neurosky Mindwave* (MW) [NEU16] e o *Emotiv EPOC* [EMO16]. Além disso, são os dois equipamentos disponíveis para serem utilizados na pesquisa.

O MW é um *headset* (ajustável e adaptável ao crânio de cada usuário), composto por apenas um eletrodo, disposto no escalpo, na região do córtex pré-frontal (na localização

FP1 do Sistema Internacional 10-20), onde predominam atividades mentais tais como, emoções, estados mentais e concentração. Este dispositivo pode ser visto na Figura 5.

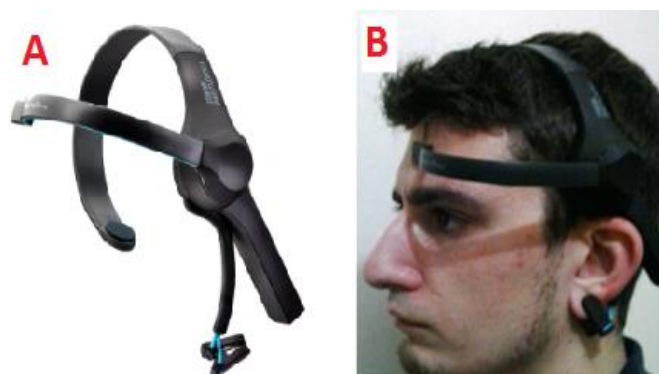


Figura 5 - Neurosky Mindwave.

Autor: [PIF14].

Através da tecnologia *Neurosky Thinkgear Technology*, os sinais analógicos captados são ampliados, tratados (remoção de ruídos e digitalização) e disponibilizados de diferentes formas. Há a possibilidade de visualizar a frequência e a potência de cada um dos ritmos cerebrais ou até mesmo valores que caracterizam os níveis de atenção e meditação, através de um algoritmo proprietário denominado eSense. Esse algoritmo não apresenta um valor exato de atenção ou meditação, mas sim, um range de valores que representa a intensidade dessas atividades cerebrais. Esses valores são denominados eSense Meters e variam numa escala de 0 a 100.

O Emotiv EEG é um EEG portátil é constituído por 14 sensores, também chamados de eletrodos, que permitem a captação da atividade neurofisiológica, e mais 2 eletrodos de referência, que são utilizados na referenciação da medição da amplitude do sinal elétrico das ondas cerebrais, nas regiões P3 e P4. Os eletrodos são posicionados sobre os marcos anatômicos AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4. Portanto, o Emotiv utiliza as posições pré-definidas do Sistema Internacional 10-20 sobre o couro cabeludo do usuário. A Figura 6a mostra um dispositivo do tipo Emotiv enquanto a Figura 6b mostra como esse dispositivo é utilizado na cabeça do usuário.



Figura 6 - Emotiv EPOC.

Autor: [PIF14].

Este EEG possui algoritmos proprietários para a extração de características dos sinais captados. Os diferentes conjuntos de características são denominados como *Detection Suite*, sendo cada um responsável por detectar algum padrão de comportamento neural distinto, seja ele cognitivo, expressivo ou afetivo. O comportamento cognitivo está relacionado à intenção consciente do usuário para realizar ações físicas sobre um objeto real ou virtual. O comportamento expressivo reflete as expressões faciais de um usuário como, por exemplo, sorriso, a piscada dos olhos, entre outros. E o comportamento afetivo busca aferir os níveis de atenção, meditação, frustração e excitação de um usuário.

2.3.1.2. Processamento de sinal

Cada pensamento resulta diferentes padrões de sinais cerebrais. Uma ICC funciona como sistema que reconhece esses padrões e os classifica em classes de acordo com sua característica [NIC12]. Desta maneira, após o registro dos sinais, os mesmos são digitalizados e são submetidos a uma variedade de procedimentos para extração de características, tais como filtragem espacial, medição da amplitude e análises espectrais. Esta análise tem como objetivo extrair destas características a codificação das mensagens ou comandos do usuário, devendo considerar a localização da extração dos sinais [WOL02]. Desta forma, não é recomendado procurar por estímulos visuais na área do córtex motor, uma vez que esta região processa basicamente tarefas motoras.

Em se tratando de registros de EEG, alguns pontos são importantes para a extração de características. Primeiramente, os sinais de EEG tem uma baixa relação sinal-ruído, o que faz com que ele apresente valores extremos e discrepantes. Normalmente, vetores de características de ICC possuem alta dimensionalidade, pois normalmente são extraídos de

vários canais e de vários segmentos de tempo, e só depois concatenados. Comumente, devem conter informação do tempo da atividade cerebral, pois normalmente os padrões estão relacionados a variações de tempo no EEG. Não são estacionários, e podem variar ao longo do tempo entre as sessões. E, normalmente, possuem conjuntos de treinamento pequenos, pois o processo é demorado e exige dos usuários [LOT07]. Após, o algoritmo de tradução ou seleção [NIC12] interpreta as características do sinal e gera os comandos computacionais. Para isso, podem ser utilizados diferentes métodos, tais como análise estatística clássica, redes neurais, classificadores lineares como máquina de vetores de suporte, classificadores bayesianos, modelo oculto de Markov, entre outros [LOT07]. Independente do algoritmo, este realiza a mudança de variáveis independentes, ou seja, características de sinal, em variáveis dependentes, como os comandos de controle de dispositivo [WOL02].

Para uma melhor eficiência, é importante que o algoritmo possa se adaptar ao usuário em três níveis. Em primeiro lugar, deve-se adaptar às características do sinal do indivíduo, ou seja, efetuar uma calibração. Este aspecto é importante em uma eventual troca de usuário. Em segundo lugar, durante o dia, os sinais eletrofisiológicos sofrem alterações devido aos níveis hormonais, troca de meio ambiente, eventos recentes, fadiga, entre outros. Então, são necessários ajustes periódicos *on-line* para tais variações espontâneas [WOL02].

Ainda, pode-se classificar uma ICC a partir do momento da execução dos algoritmos. Define-se como online, uma ICC que realiza o processamento durante o tempo em que o usuário está utilizando a ICC e gerando ações. Classifica-se como *offline* as ICCs onde a análise é feita posteriormente aos sinais registrados, não gerando ações imediatas [FER08].

2.3.1.3. Dispositivos de saída

Os dispositivos de saída de uma ICC dependem de sua finalidade. Pode-se citar um monitor, onde o objetivo da interface é, por exemplo, um soletrador. Estudos apontam para o desenvolvimento de próteses, como mãos e pernas [WOL02]. No estudo de [NIC11], o dispositivo de saída é um exoesqueleto, este trabalhará para reabilitar os movimentos de pacientes com paraplegia. Tipicamente, os dispositivos de saída também são aqueles que dão o feedback para o usuário [WOL02].

2.3.2. Tipos de ICCs Baseadas em EEG

O tema ICC baseada em EEG vem sendo discutido há algum tempo por vários pesquisadores, com isso, diferentes tipos de interfaces foram propostos. Uma breve revisão sobre os tipos de ICC consolidados no meio científico é necessário para compreensão das técnicas utilizadas até o momento. Neste sentido, são apresentados, a seguir, os seguintes tipos de ICCs baseadas em EEG: potencial cortical lento, potenciais motores, eventos relacionados a sincronização e dessincronização, potencial visual evocado, P300 potencial evocado.

2.3.2.1. Potencial cortical lento

Os potenciais corticais lentos, do inglês *slow cortical potentials* (SCP), referem-se a sinais de baixa frequência, comumente menores que 2Hz, e que possuem relação com acontecimentos cognitivos e sensório-motores. Neste caso, sinais negativos estão ligados à ativação do córtex enquanto positivos, refletem a atividade reduzida. Pesquisadores comprovaram que usuários podem controlar este tipo de potencial, apesar de que, para isso, necessitem de muito treinamento [BER07][WOL02].

O estudo de BERGER et al. [BER07] utilizou o método de SCP no qual o usuário foi treinado a mover um cursor para cima e para baixo em um monitor. Após este treinamento, foi dividido o alfabeto junto com sinais de pontuação em duas partes de 16 caracteres, sendo que metade ficava na parte superior do monitor e a outra na inferior. Desta maneira, através do pensamento, o usuário deveria selecionar com o cursor qual área o caractere desejado encontrava-se. Nas fases seguintes, os caracteres da parte escolhida eram novamente divididos e redistribuídos no monitor, de maneira que, ao final, o usuário teria selecionado o caractere desejado. Neste estudo, constataram que era possível escrever textos utilizando esta ICC.

2.3.2.2. Eventos relacionados à sincronização e dessincronização

Tanto movimentos executados quanto os imaginados são acompanhados por registros de mudanças oscilatórias na atividade cerebral. Quando existe um aumento na atividade síncrona, chama-se de evento relacionado à sincronização (ERS). A diminuição desta atividade recebe o nome de evento relacionado à dessincronização (ERD). No estudo de Pfurtscheller, foi descrito o uso de um mapa topográfico com especificidade sobre os

eventos ERD e ERS, no qual foi demonstrado que o movimento das mãos está associado com um ERD do ritmo Mu predominante sobre o lado contralateral do cérebro. Diversas pesquisas vêm trabalhando, relacionando estes eventos com o ritmo Mu presente na área do córtex motor [BER07].

2.3.2.3. Ritmos sensório-motores

Tanto os movimentos executados, quanto os movimentos imaginados do corpo humano são acompanhados por potenciais transientes que podem ser registrados no escalpo. Normalmente, este registro é precedido por um sinal negativo. A localização do registro varia conforme a natureza do movimento [BER07].

Ritmos sensório-motores compreendem os ritmos Mu e Beta e variação da amplitude desses ritmos varia quando a atividade cerebral está relacionada a qualquer atividade motora, mesmo quando não existe ação motora [NIC12]. Estes sinais são comumente encontrados contra lateralmente ao movimento, e estão relacionados com ERS e ERD [WOL02].

2.3.2.4. Potenciais visuais evocados

Os potenciais visuais evocados (PVE), traduzido do inglês *Visual Evoked Potentials* (VEP), são estímulos visuais apresentados ao usuário com uma taxa constante e em curta duração. Isso faz com que sejam gerados sinais que podem ser registrados na mesma frequência com que são apresentados. Por exemplo, quando os indivíduos assistem a estímulos visuais de curta duração, e apresentados a uma taxa constante de 13 Hz, sinais são captados sobre a região posterior das áreas visuais com uma frequência 13 Hz [BER07].

Pode-se citar, como exemplo, o experimento realizado por Middendorf [WOL02], onde utilizou PVEs para determinar a direção do olhar. No estudo, foram apresentados ao usuário vários botões em uma tela. Estes botões emitiam sinais luminosos com taxas diferentes de frequência. O usuário, ao olhar para um botão, fazia com que o sistema captasse no córtex visual uma resposta de mesma frequência. Assim, o sistema conseguia distinguir qual botão era desejado pelo usuário.

2.3.2.5. P300 potenciais evocados

Ao receber estímulos visuais, auditivos ou somatossensoriais frequentes, geralmente, no córtex parietal, são registrados picos positivos, isto após cerca de 300 milissegundos ao estímulo. Este fenômeno recebe o nome de P300 potencial evocado. Existem dois pontos interessantes de se utilizar estes potenciais em ICCs: estes potenciais são notados somente quando o usuário possui interesse ou desejo sobre o estímulo e não há necessidade de treinamento para a utilização do mesmo [WOL02].

Por meio desta técnica, Donchin, Spencer e Wijesinghe [DON00] criaram um sistema soletrador. Este consiste num sistema que apresenta ao usuário uma matriz 6 por 6 contendo caracteres, no qual o usuário deve focar sua atenção no caractere por ele desejado. O sistema então destaca os caracteres linha a linha, depois coluna a coluna. Por meio de um EEG é possível avaliar o nível de atenção do usuário de tal maneira que haverá um pico de sinal, sendo possível identificar o caractere desejado. Nessa pesquisa, também demonstraram que usuários sem deficiência motora como os com Esclerose Lateral Amiotrófica foram capazes de utilizar um sistema baseado em P300 utilizando apresentações visuais ou auditivas [WOL02].

2.3.3. ICC Híbrida

Com finalidade de melhorar a performance, aumentar a precisão, reduzir erros e superar as desvantagens das ICCs convencionais, foi proposta a técnica de ICC híbrida (ICCh). Esta técnica consiste na combinação de dois ou mais tipos de ICC, duas ou mais técnicas de aquisição de sinal, ou, ainda, da combinação de uma ICC com outras técnicas de interação não baseadas em ICC [WOL07][NIC12][AMI13][PFU10]. Recentemente, ICChs tem chamado maior atenção de pesquisadores. Conforme Amri et al [AMI13], em uma busca realizada na base scopus, que possuam como palavras-chave (“Brain-Computer Interface” or “BCI”) and “Hybrid”), o número de artigos em *journals* antes de 2010 são de somente 3. Já para o ano de 2010 e 2011 são de 6 e 10 respectivamente.

Realizando uma busca na base scopus, utilizando a mesma *string* que os autores anteriores, até março de 2016, a base retornou 8 artigos em 2012, 11 em 2013, 20 em 2014 e 2015, e 4 em 2016.

De modo geral, em uma ICCh, dois sistemas são combinados simultaneamente ou sequencialmente. Um sistema simultâneo é aquele onde as entradas trabalham de maneira paralela, e o somatório das técnicas é que define a saída. Já em um sistema sequencial, a

primeira técnica é utilizada como um interruptor ou seletor, liberando o sistema a realizar a análise da segunda técnica. Para ilustrar, a Figura 7 apresenta dois sistemas simultâneos (B e C), sistemas sequenciais (A, D e E), que funcionam como interruptores, e sistemas sequenciais (F e G), que funcionam como seletores [PFU10].

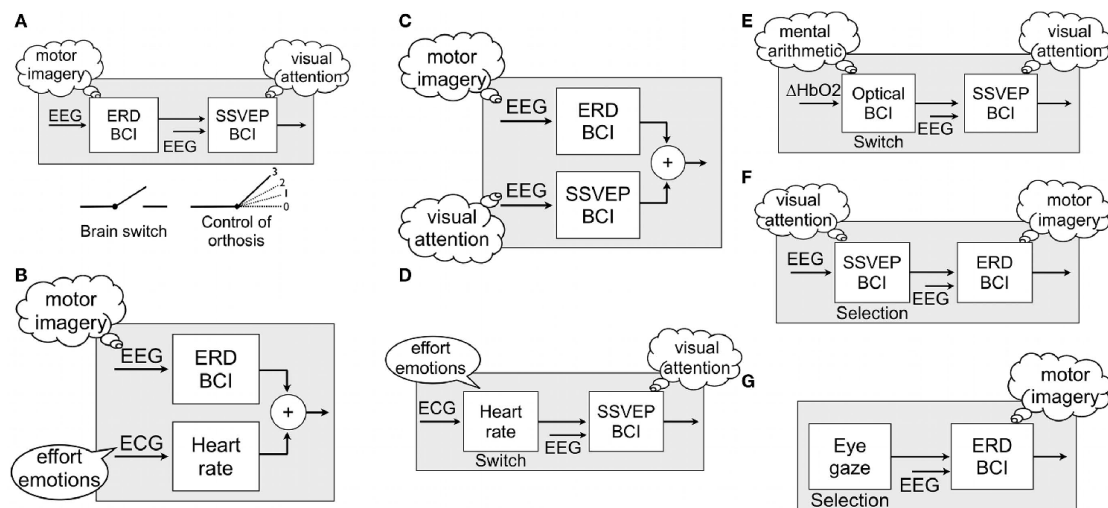


Figura 7 - Sistemas de ICCh.

Autor: [PFU10].

Em um sistema sequencial como interruptor, a primeira técnica detecta apenas um estado cerebral, normalmente responsável por determinar a intenção do usuário em executar a ação. Desta maneira, a segunda técnica será liberada pela primeira, e executará a ação. A proposta deste sistema é diminuir a quantidade de falsos positivos. Por outro lado, um sistema sequencial pode utilizar duas técnicas de aquisição de sinal, como, por exemplo, EEG e fNIRS [YIN15]. Ainda, pode combinar uma técnica de ICC com uma não baseada em ICC, como, por exemplo, ICC e EMG [LIN15]. Além disso, pode combinar duas técnicas diferentes de ICC, como ERD e SSVEP [PFU10], por exemplo.

2.3.4. ICC Colaborativa

No mesmo sentido das ICCh, outras pesquisas visam melhorar a performance das ICCs, principalmente no que diz respeito a aumentar o desempenho humano. Com a hipótese de que um sistema que integrasse a atividade cerebral de um grupo de pessoas pudesse aumentar o desempenho de uma ICC, pesquisadores propuseram o conceito de ICC colaborativa [WAN11a][WAN11b].

Atualmente, o principal fator das ICCs que aumentam a capacidade humana ainda não ter atraído muita atenção, são os limites das técnicas de medição e processamento de sinais de EEG em um ambiente real. Um dos principais problemas de um EEG em um ambiente real é a baixa relação sinal-ruído, o que ocasiona uma baixa exatidão na classificação dos sinais cerebrais, fazendo com que outras modalidades de entrada sejam alternativas mais precisas para a maioria das aplicações [WAN11a][WAN11b].

Uma alternativa adotada para melhorar a precisão em um sistema ICC é a utilização de vários ensaios, ou seja, o usuário deve demonstrar diversas vezes e sequencialmente a intenção a um comando para que o mesmo seja executado. No entanto, em ambientes onde a operação em tempo real é necessária, a execução de múltiplos ensaios não é prática. Com isso, uma alternativa válida para estes ambientes é a combinação da intenção de múltiplos sujeitos, de forma paralela [WAN11a][WAN11b].

Similar a uma ICC convencional, um sistema de ICC colaborativo possui partes fundamentais para seu funcionamento, dentre essas estão a aquisição de sinal e processamento de sinal. Primeiramente os sinais cerebrais de um grupo de usuários são adquiridos por vários dispositivos de gravação, e, em seguida, são sincronizados com eventos ambientais comuns entre todos usuários. Após isso, ocorre o processamento dos dados coletados, a fim de extrair as características para decodificar as intenções dos usuários. E, por fim, os recursos extraídos são traduzidos para comandos de operação. A partir destas partes surgem desafios ao projeto de uma ICC colaborativa. Em primeiro lugar, são necessários múltiplos registros de sinais cerebrais, e estes precisam trabalhar de forma independente e simultaneamente. Por segundo, os dados necessitam ser recebidos e sincronizados com os eventos comuns a todos os usuários. E, por terceiro, todo o processo deve ser executado em tempo real. Desta maneira, o sistema pode ser implementado utilizando um paradigma centralizado, muito semelhante a um sistema de ICC convencional, conforme a Figura 8 [WAN11a][WAN11b].

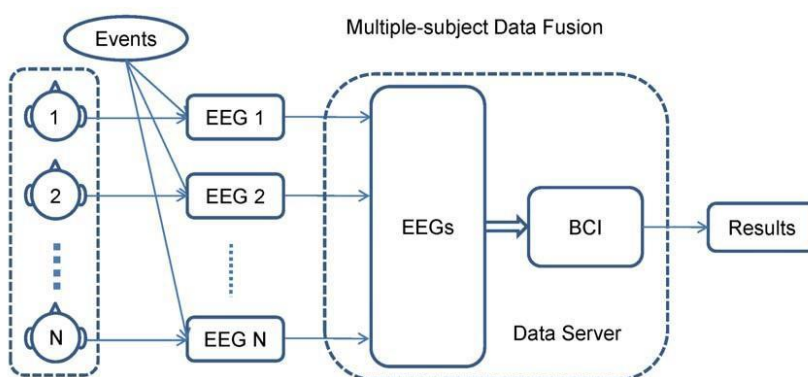


Figura 8 - ICC colaborativa com paradigma centralizado.

Autor: [WAN11a].

Ainda, relacionado à Figura 8, no paradigma centralizado, os registros dos sinais cerebrais dos múltiplos usuários, juntamente com os eventos, são enviados a um servidor de dados, que, por sua vez, realiza a extração de características e tradução em comandos. Segundo [WAN11a][WAN11b], há algumas desvantagens, ou cuidados que devem tomados, na escolha deste paradigma. Dentre esses estão a carga de dados, que precisam ser transmitidos ao servidor, o custo computacional de processamento no servidor e a robustez do sistema.

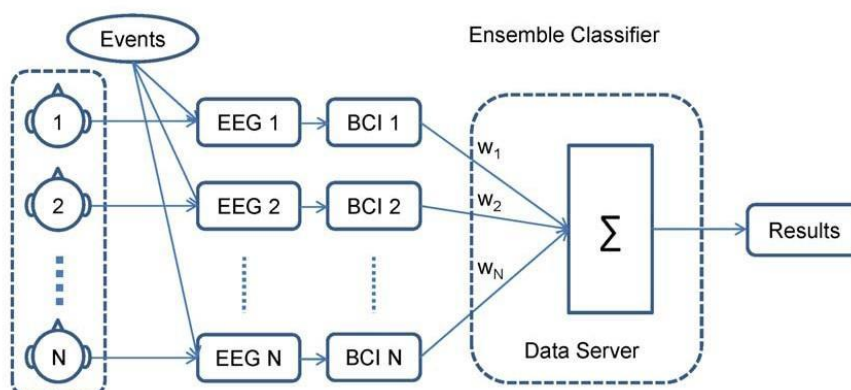


Figura 9 - ICC colaborativa com paradigma distribuído [WAN11a].

Autor: [WAN11a].

Para resolver estes problemas, foi proposto um paradigma distribuído do sistema, apresentado na Figura 9, composto por múltiplos subsistemas de ICC e um servidor de dados simplificado. Para cada usuário, um subsistema ICC independente é capaz de

adquirir os sinais cerebrais e processá-los. Desta maneira, o volume de dados transmitidos, assim como o custo computacional de processamento, diminui drasticamente para o servidor. Assim, a função do servidor passa a ser integrar o conjunto de resultados enviados pelos subsistemas e apresentar o resultado, aumentando a robustez do sistema. A desvantagem deste paradigma é o aumento do custo computacional nos subsistemas de ICC. Entretanto, na prática, diversos EEGs possuem processadores de sinal digital integrados, o que reduz este custo [WAN11a][WAN11b].

3. REVISÃO SISTEMÁTICA

Como o objetivo principal deste trabalho está relacionado ao conceito de Interface Cérebro-Computador Colaborativa, e com o intuito de realizar um mapeamento na área, entender como funcionam alguns métodos de junção, quais técnicas estão envolvidas, e verificar como normalmente essas interfaces são avaliadas, executou-se uma revisão sistemática da literatura.

Conforme Kitchenham [KIT07], uma revisão sistemática da literatura é um processo metódico para identificar, avaliar e interpretar as evidências científicas disponíveis e relevantes sobre um tema específico de interesse. O protocolo utilizado neste trabalho foi baseado em [KIT07]. Com a proposta de realizar uma verificação geral da área de ICCc, esta revisão sistemática tem como objetivos:

- I. Identificar os domínios de aplicação das ICCs Colaborativas.
- II. Identificar as técnicas utilizadas na criação de ICCs Colaborativas.
- III. Identificar como são avaliadas as ICCs Colaborativas.

A partir dos objetivos definidos, foram propostas as questões de pesquisa primárias e secundárias:

- Q1. Quais os domínios de aplicação das ICCs colaborativas?
 - a) Quais trabalhos realizam tarefas de tomada de decisão?
- Q2. Quais técnicas são utilizadas na criação de ICCs Colaborativas?
 - a) Quais características estão sendo utilizadas?
 - b) Quais técnicas de combinação estão sendo utilizadas?
 - c) Quais trabalhos utilizam ICC híbrida?
- Q3. Quais metodologias estão sendo utilizadas na avaliação de ICCs colaborativas?

3.1.1. Estratégias de busca

A pesquisa ocorreu em 4 bases de dados:

- ACM Digital Library
- IEEEXplore
- PubMed
- Scopus

Baseando-se nos objetivos desta revisão, e nos trabalhos [WAN11b][POL14] [WAN11a] previamente estudados, foram definidas as seguintes palavras-chave, seus sinônimos e siglas:

- Collaborative Brain-Computer Interface
 - Collaborative BCI
 - cBCI
- Cooperative Brain-Computer Interface
 - Cooperative BCI
- Multi-brain

Baseando-se nas palavras-chave, formulou-se seguinte *string* de busca genérica, que foi adaptada a cada base.

("Collaborative Brain-computer interface" OR "Collaborative BCI" OR "cBCI" OR "Cooperative Brain-Computer Interface" OR "Cooperative BCI" OR "Multi-brain")

As buscas foram realizadas nos campos de resumo, título e palavras-chave. Na base de dados IEEEExplore, as buscas tiveram que ser realizadas separadamente por cada campo, devido à limitação de termos no motor de busca. Ainda, foram realizados testes utilizando os termos no idioma Português, com o objetivo de verificar os trabalhos em âmbito nacional, porém sem resultados satisfatórios. Desta maneira, o idioma selecionado foi o Inglês.

Quanto aos critérios para seleção, foram definidos:

- **Critérios de inclusão:**
 - O trabalho deve descrever o uso de ICC não invasiva.
 - O trabalho deve estar disponibilizado na íntegra.
 - O trabalho deve ser estudo primário.
- **Critérios de exclusão:**
 - Trabalhos que não tratem sobre ICC Colaborativa.
 - Trabalhos que não estejam no idioma Inglês.

3.1.2. Execução e Extração

A seleção dos artigos iniciou na execução das *strings* em cada base de dados. Os resultados foram exportados no formato *bibtex* ou *medline*, num total de 120 trabalhos, e, após, foram importados para a ferramenta *Start* [STA16]. Os trabalhos duplicados foram

eliminados, sobrando um total de 74 trabalhos. Após, os critérios de seleção foram aplicados durante a leitura dos resumos desses 74 artigos. Em alguns casos de dúvida, foram consultados os textos na íntegra. Nesta etapa, 20 trabalhos foram aceitos. Em seguida, as etapas anteriores foram auditadas por um especialista da área, que confirmou a aceitação dos 20 artigos. Por fim, os artigos aceitos foram lidos na íntegra, e a extração de informações foi realizada respeitando responder às perguntas desta pesquisa. Nesta etapa, um dos artigos foi rejeitado por não apresentar experimentos, se tratando de uma revisão bibliográfica. O estudo contou, então, com 19 trabalhos.

3.1.3. Resultados

Os resultados aqui apresentados serão um resumo dos extraídos pela revisão, com a finalidade de apresentar os resultados mais relevantes para as próximas etapas da pesquisa. A Figura 10 é apresentada a quantidade de publicações por ano, que mostra que os estudos nesta área ainda são recentes.

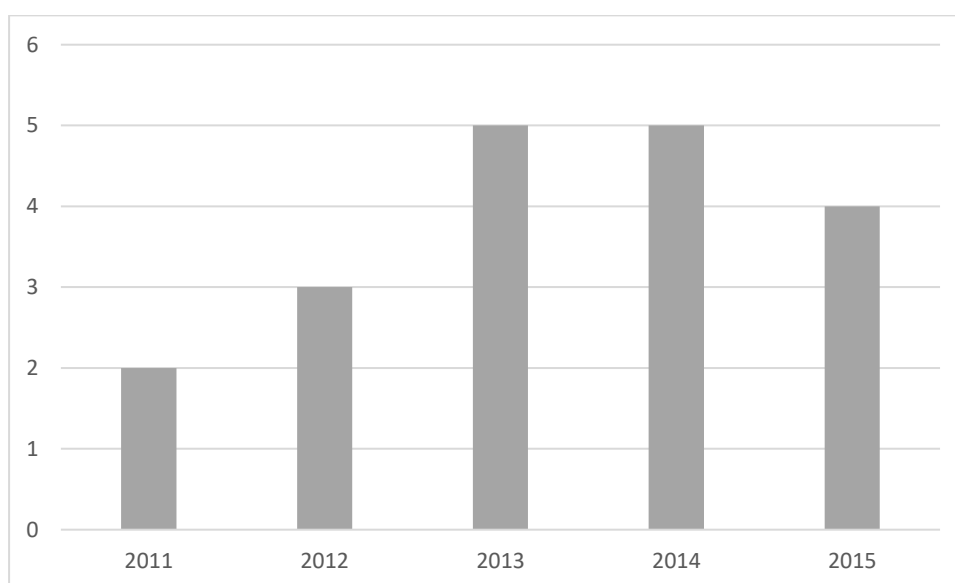


Figura 10 -Quantidade de publicações por ano.

Autor: Do autor.

Na Tabela 3 é apresentado o resumo dos trabalhos incluídos nesta revisão, incluindo o título, a base de dados, os autores, o ano de publicação, o evento ou revista para qual foi aceito, e o tipo da publicação.

Tabela 3 - Resumo dos trabalhos selecionados para revisão sistemática.

Referência	Título	Base	Autores	Ano	Evento/revista	Tipo
[POL13a]	Towards Cooperative Brain-computer Interfaces for Space Navigation	ACM	Poli, Riccardo and Cinel, Caterina and Matran-Fernandez, Ana and Sepulveda, Francisco and Stoica, Adrian	2013	Proceedings of the 2013 International Conference on Intelligent User Interfaces	Conference Paper
[CEC14a]	Subject combination and electrode selection in cooperative brain-computer interface based on event related potentials	PubMed	Cecotti H ; Rivet B	2014	Brain sciences	Journal Article
[ECK12]	Neural decoding of collective wisdom with multi-brain computing	PubMed	Eckstein MP ; Das K ; Pham BT ; Peterson MF ; Abbey CK ; Sy JL ; Giesbrecht B	2012	NeuroImage	Journal Article
[WAN11a]	A collaborative brain-computer interface for improving human performance	PubMed	Wang Y ; Jung TP	2011	PloS one	Journal Article
[KOR15]	Single-trial classification of multi-user P300-based Brain-Computer Interface using riemannian geometry	Scopus	Korczowski, L. and Congedo, M. and Jutten, C.	2015	Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS	Conference Paper
[VAL15b]	A collaborative Brain-Computer Interface to improve human performance in a visual search task	Scopus	Valeriani, D. and Poli, R. and Cinel, C.	2015	International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, NER	Conference Paper
[VAL15a]	A collaborative Brain-Computer Interface for improving group	Scopus	Valeriani, D. and Poli, R. and Cinel, C.	2015	International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, NER	Conference Paper

	detection of visual targets in complex natural environments					
[POL14]	Collaborative brain-computer interface for aiding decision-making	Scopus	Poli, R. and Valeriani, D. and Cinel, C.	2014	PLoS ONE	Article
[TOU14]	A collaborative BCI system based on P300 signals as a new tool for life log indexing	Scopus	Touyama, H.	2014	Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics	Conference Paper
[CEC14b]	Performance estimation of a cooperative brain-computer interface based on the detection of steady-state visual evoked potentials	Scopus	Cecotti, H.a and Rivet, B.b	2014	ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings	Conference Paper
[MAT14]	Collaborative brain-computer interfaces for target localisation in rapid serial visual presentation	Scopus	Matran-Fernandez, A. and Poli, R.	2014	2014 6th Computer Science and Electronic Engineering Conference, CEEC 2014 - Conference Proceedings	Conference Paper
[MAT13]	Collaborative brain-computer interfaces for the automatic classification of images	Scopus	Matran-Fernandez, A. and Poli, R. and Cinel, C.	2013	International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, NER	Conference Paper
[STO13]	Multi-brain fusion and applications to intelligence analysis	Scopus	Stoica, A.a and Matran-Fernandez, A.b and Andreou, D.b and Poli, R.b and Cinel, C.b and Iwashita, Y.a and Padgett, C.a	2013	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	Conference Paper
[YUA13]	A collaborative brain-computer interface for accelerating human decision making	Scopus	Yuan, P.a and Wang, Y.b and Gao, X.a and Jung, T.-P.b and Gao, S.a	2013	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	Conference Paper

[POL13b]	Improving decision-making based on visual perception via a collaborative brain-computer interface	Scopus	Poli, R.a and Cinel, C.a and Sepulveda, F.a and Stoica, A.b	2013	2013 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support, CogSIMA 2013	Conference Paper
[STO12]	MultiMind: multi-brain signal fusion to exceed the power of a single brain	Scopus	Stoica, A.	2012	Proceedings - 3rd International Conference on Emerging Security Technologies, EST 2012	Conference Paper
[WAN11b]	A collaborative brain-computer interface	Scopus	Wang, Y.a and Wang, Y.-T.a and Jung, T.-P.a and Gao, X.b and Gao, S.b	2011	Proceedings - 2011 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, BMEI 2011	Conference Paper
[KAT15]	Two Brains Guided Interactive Evolution	IEEE	Kattan, A. ,Doctor, F. and Arif, M.	2015	Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2015 IEEE International Conference on	Conference Paper
[YUA12]	Study on an online collaborative BCI to accelerate response to visual targets	IEEE	P. Yuan and Y. Wang and W. Wu and H. Xu and X. Gao and S. Gao	2012	2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	Conference Paper

Autor: Do autor.

Respondendo as questões de pesquisa da revisão sistemática, tem-se:

Q1. Quais os domínios de aplicação das ICCs colaborativas?

O uso das ICC foi aplicado a diferentes domínios, dentre esses: controle de simulador de nave espacial baseado em controle de cursor 2D [POL13a], aplicação em jogos de entretenimento [KOR15], controle de GPS [TOU14], classificação de conteúdo humorístico em imagens [STO12]. Alguns trabalhos não apresentaram domínios de aplicação, e se tratavam do estudo dos métodos de classificação colaborativos [WAN11b][POL14][WAN11a][CEC14a][ECK12][CEC14b][KAT15].

Em relação às questões secundárias da Q1:

Q1.A. Quais trabalhos realizam tarefas de tomada de decisão?

9 trabalhos apresentaram o processo de tomada de decisão como domínio, sendo em tarefas simples de busca visual [VAL15b][YUA13][POL13b][WAN11a][YUA12] [MAT14], além de busca visual em ambientes complexos, como encontrar em fotográficos animais

alvos em seus ambientes selvagens [VAL15a], e em imagens aéreas, como uma foto panorâmica de uma cidade, onde algumas possuem um avião sobrevoando e outras não [POL14][MAT13][STO13]. Ainda sobre os trabalhos de tomada de decisão, utilizaram em suas tarefas o paradigma *Go/NoGo* [VAL15b][YUA13][WAN11a][YUA12] e *Rapid Serial Visual Presentation* (RSVP) [POL13b][VAL15a][POL14][MAT13][STO13].

Q2. Quais técnicas são utilizadas na criação de ICCs Colaborativas?

Somente um trabalho não apontou para o uso de Potenciais Evocados Relacionados a Eventos (ERP), e utilizou as características de expressões faciais extraídas pelo Emotiv EPOC [STO12]. Os demais trabalhos podem ser classificados entre os que buscaram indicar a intenção do usuário [WAN11b][POL13a][KOR15][TOU14][CEC14a][ECK12][CEC14b][KAT15][YUA13][YUA12][MAT14][MAT13][STO13], ou os que indicaram o nível de confiança na ação do usuário [VAL15b][POL13b][VAL15a][POL14].

Q2.A. Quais características estão sendo utilizadas e Q2.B. Quais técnicas de combinação estão sendo utilizadas?

As pesquisas que buscam indicar a intenção do usuário estão preocupadas em melhorar a taxa de acerto de seus classificadores. Já as pesquisas que buscam indicar o nível de confiança dos usuários estão relacionadas à perspectiva do aumento da capacidade humana em comparação com os usuários que não utilizam ICC. Como a área de interesse deste trabalho está relacionado a aumento da capacidade humana, e serão utilizadas as medidas fornecidas pelo Affective Suite do Emotiv EEG, aqui o foco se dará em alguns métodos de junção relacionados a este tema.

Nos trabalhos [POL14] e [POL13b], foi proposto o seguinte método para junção de votos:

$$decisão = \begin{cases} \text{sim se } \sum_{i \in Y} w_i > \sum_{i \in N} w_i \\ \text{não caso contrário} \end{cases}$$

onde Y e N representam os conjuntos nos quais todos participantes decidiram “sim” e “não”, respectivamente. O w_i representa o peso de cada voto, que é calculado dependendo de cada caso. No estudo [POL14] foi utilizada a seguinte fórmula para calcular o w_i :

$$w_i = \frac{3}{4}\omega(TR_i) + \frac{1}{4}\omega(cn_i)$$

onde TR_i é o tempo de resposta (TR) do participante i em uma tomada de decisão, cn_i é a característica neural e ω é a função de ponderação:

$$\omega(x) = \exp(x_0 - x)$$

onde $x_0 = 4$ e x o TR do participante, quando usado para o TR, e $x_0 = 2.5$ e x a característica neural (cn) do participante, que neste caso, é a saída do classificador LARS, que pode ser 1, para correto, ou -1. Os valores dados para x_0 mudam, de cn para TR, para balancear os valores.

Já no estudo [POL13b], o w_i para TR e nf foi calculado pela fórmula:

$$w_i = \frac{1}{\max(TRnf_n + 5, 0.5)}$$

onde 0.5 é utilizado para que o denominador não se torne extremamente grande, uma vez que alguns participantes, ao longo da tarefa, tendem a diminuir seu TR, o que pode sobressair sobre os demais participantes. Já $TRnf$ é calculado pela fórmula:

$$TRnf = a \cdot TR_n + b \cdot nf_n + c$$

onde TR_n é o tempo de reação do participante, nf_n é o coeficiente para a característica neural obtido através de *Eigenbrain componentes*, e a , b e c são constantes geradas de sujeito para sujeito utilizando uma regressão linear. Neste estudo, as duas medidas foram normalizadas sujeito por sujeito baseando-se nas medianas obtidas.

Nos trabalhos [VAL15b] e [VAL15a] foram utilizados métodos semelhantes para calcular:

$$d_{grupo} = \text{sign}(w_1 \cdot d_1 + w_2 \cdot d_2 + \dots + w_n \cdot d_n)$$

onde n é o tamanho do grupo, $d_i = \{-1, 1\}$ é a decisão do participante $i = 1, \dots, n$ e w_i é o peso associado a confiança do participante i . No caso do trabalho [VAL15b], foi utilizada a função de ponderação a seguir:

$$w_i = \exp(-(2.5 + f_i))$$

onde f_i é a confiança estimada pelo classificador LARS, disponível para cada decisão tomada pelo participante i . Não será descrito em detalhes o classificador LARS, uma vez que pretendesse utilizar as características já extraídas e classificadas do Emotiv EEG. O trabalho [STO12] utilizou a detecção facial do Emotiv para classificar imagens com conteúdo humorístico. Para isso, utilizou as regras presentes na Tabela 4 para agregação:

Tabela 4 - Regras de agregação/fusão para 2 entradas.

	Neutral	Smile	Laugh
Neutral	neutral	So-So	Laugh
Smile	So-So	Funny	Quite Funny
Laugh	Funny	Quite Funny	Really Funny

Autor: Do autor.

Q2.C. Quais trabalhos utilizam ICC híbrida?

Apenas 4 trabalhos tiveram esta abordagem, sendo que [VAL15b][POL13b][POL14] utilizaram o tempo de reação e a decisão tomada pelo usuário utilizando um mouse convencional. Além dessas, [VAL15a] também analisou o movimento dos olhos. Tanto os movimentos dos olhos quando o tempo de reação podem indicar o nível de confiança da decisão tomada pelo usuário. Alguns dos demais estudos também utilizam outras interfaces nos seus experimentos, como mouse e teclado, porém, estes não têm efeito sobre os sistemas de ICCc. Desta maneira, foi possível verificar alguns trabalhos, que assim como neste trabalho, utilizaram mais de uma interface. O método utilizado para tempo de reação será descrito nas sessões a seguir.

Q3. Quais metodologias estão sendo utilizadas na avaliação de ICCs colaborativas?

Verifica-se que são influenciadas novamente pela abordagem que se propõem em melhorar, a performance dos classificadores ou a melhora da capacidade humana. Nos estudos direcionados à classificação, a comparação usada é sempre entre classificadores colaborativos e individuais. A análise predominante da performance foi realizada utilizando Curvas ROC, mais especificamente a Área Abaixo da Curva (AUC) [POL13a][CEC14a][ECK12][CEC14b][MAT14][MAT13][STO13]. Ainda, alguns estudos comparam a taxa de predição [TOU14][WAN11b][KAT15][YUA13][YUA12]. A validação cruzada também foi

utilizada na avaliação em 3 trabalhos [WAN11b][YUA13][YUA12]. Para avaliar o tamanho dos grupos, dois estudos utilizaram técnicas de análise de variância, sendo que [WAN11b] utilizou ANOVA e [POL14] utilizou Kruskal-Wallis. Quanto às ICCcs que buscam o aumento da capacidade humana predominam a comparação da média de erros nas tomadas de decisão baseadas em ICCc e não baseadas em ICC, como exemplo, uma ICCc que pondera os votos de 10 participantes e assim toma suas decisões, acerta mais do que o voto baseado somente na maioria dos votos dos mesmos participantes. Ainda, análises estatísticas foram realizadas com diferentes tamanhos de grupo, seja utilizando *Wilcoxon signed-rank* [VAL15b][VAL15a][POL14] ou *Kolmogorov-Smirnov* [POL13b]. [POL13a] ainda avaliou o sistema por completo, baseado em duas medidas (comprimento de trajeto normalizado e desvio angular e absoluto) que indicavam quão preciso foi o trajeto executado pela nave espacial.

Após a análise dos resultados, verificou-se que a utilização de medidas neurais já extraídas por equipamentos, como o Emotiv EEG, foi pouco explorada. Se tratando da aplicação desta técnica em ambiente real, o uso deste tipo de tecnologia pode diminuir o tempo de desenvolvimento, além de baratear o custo de execução, fazendo com que a solução se aproxime do usuário final.

4. METODOLOGIA DE ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Este capítulo explica os passos necessários para alcançar o objetivo proposto nesta dissertação, que é:

Verificar se medidas neurais e comportamentais possuem relação com as tomadas de decisão corretas e erradas.

Com isso, optou-se por realizar um experimento semelhante ao apresentado em [POL14], que desenvolveu uma ICCc, e utilizou tarefas baseadas em RSVP. Apesar de constar nas considerações de design de RSVP, não foram consideradas informações advindas de piscada intencional, movimentos sacádicos e memorização após 6 segundos, uma vez que demandaria um tempo maior na análise dos dados.

Também, para que se pudesse analisar a relação entre medidas neurais e comportamentais, foram desenvolvidas tarefas que fizeram uso de uma ICCh, que utilizou o teclado com periférico de entrada para registrar as respostas das tarefas dos participantes.

Para reforçar alguns pontos da definição da tarefa e do experimento a serem realizados, foi realizada uma reunião com um especialista na área. Inicialmente, foi explicada a problemática e algumas tarefas encontradas na literatura. Foi possível assim, levantar alguns requisitos importantes:

- Após a execução da tarefa, solicitar ao usuário um auto relato de sua experiência durante o experimento, para possível triangulação de informação com os dados neurais e comportamentais coletados.
- Algumas tarefas são mais emocionais e podem estimular diversos processos mentais. Com isso, o desenvolvimento de uma tarefa simples, que não envolva questões emocionais, pode facilitar o mapeamento de quais processos são importantes.
- Utilizar tarefas motoras simples, porque, assim como os estímulos, podem interferir no mapeamento do que é importante.
- Tarefas de respostas binárias são as mais comuns e encaixam bem no propósito inicial do trabalho, como tarefas de reconhecimento visual (busca por alvos) ou de planejamento (Torre de Hanói).

4.1. Sujeitos da pesquisa

A escolha dos participantes foi intencional (não probabilística), isto é, foram escolhidos em função das questões de interesse do estudo, perfil e disponibilidade para realizarem as tarefas.

Foram convidados participantes que não tivessem experiência no uso de ICC e em jogos de atenção, e que não possuíssem fotossensibilidade.

4.2. Coleta dos dados e instrumentos

O processo de planejamento da coleta dos dados foi baseado em cinco questões, sugeridas por [ROG13]. São elas:

- Estabelecendo os objetivos: o objetivo dos questionários e da gravação do *log* da ICC foi coletar dados que pudessem registrar a percepção do usuário sobre sua experiência na execução das tarefas e sua reação em termos de sinais cerebrais.
- Identificando os participantes: a amostra foi constituída por participantes que atenderam a um convite e estavam disponíveis em um determinado período. Portanto, foi não probabilística e por conveniência.
- Relacionamento com os participantes: para manter uma relação clara, profissional e ética entre o pesquisador, que coletou os dados e aplicou as tarefas, e os participantes, que forneceram os dados e realizaram as tarefas, foi elaborado um termo de consentimento informado. Seguindo a determinação da Resolução 466/2012 [BRA12], foram incluídas informações necessárias para o completo esclarecimento sobre a pesquisa a qual o participante estava se propondo a participar. Dentre essas informações, estão os dados dos responsáveis pela pesquisa, objetivos da pesquisa, procedimentos de coleta de dados, explicação de possíveis desconfortos, garantia de manutenção do sigilo e privacidade dos participantes, dentre outras. O Apêndice B apresenta o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que foi lido por todos os participantes, que consentiram em participar e assinaram o documento.
- Triangulação: indica que a investigação de um fenômeno é realizada a partir de, pelo menos, duas perspectivas. No caso, foi determinado que haveria triangulação de teorias, pelos quais os dados seriam estudados, analisados e

visualizados. Dentre estas está a comparação dos dados informados pelos participantes por meio dos questionários e os dados coletados pela ICC bem como as diferentes abordagens para análise dos dados estatísticos.

- Estudo piloto: se refere à execução experimental do estudo principal para que se possa se certificar de que o método proposto é viável, antes de iniciar o estudo de fato. Inclui testar os procedimentos, instrumentos de coleta, equipamentos, instruções das atividades, local de coleta. Os participantes do estudo piloto não participaram do estudo principal.

Foram analisadas as seguintes características de cada participante da pesquisa:

- a) Perfil por meio de questionário digital.
- b) As características neurais (CN) extraídas pelo *Emotiv EEG*.
- c) A decisão tomada (DT) registrada por meio da aplicação que continha as tarefas.
- d) O Tempo de Reação (TR) registrado por meio por meio da aplicação que continha as tarefas.
- e) As percepções por meio de questionários.

Os questionários (Apêndice A) foram disponibilizados em forma digital e foram respondidos na presença do pesquisador, em momentos específicos, seguindo uma ordem determinada. O *log* com os dados coletados pela ICC foi registrado automaticamente pelo dispositivo, sem que o participante, ou o pesquisador, pudesse acessá-lo ou conferir sua captura no momento da realização das tarefas.

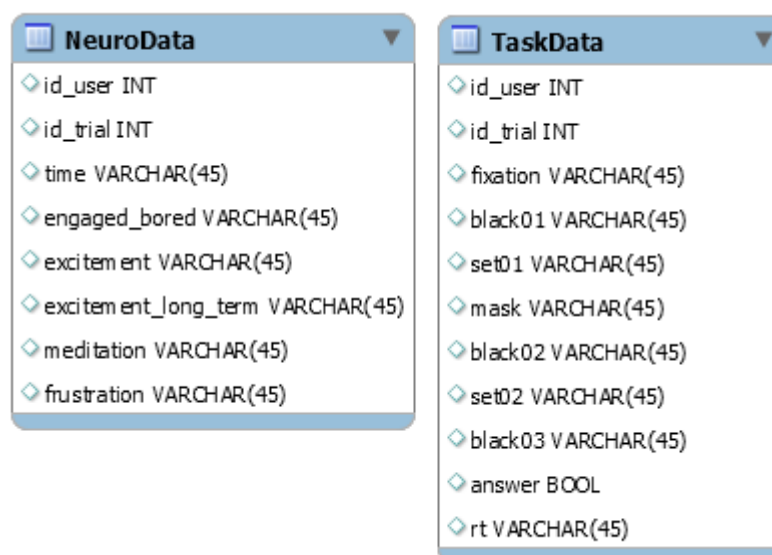
Para aquisição de sinais cerebrais, havia a opção por utilizar dois tipos de equipamentos de ICC: *Emotiv EEG* ou *Neurosky Mindwave*. Apesar do uso do *Emotiv* ser mais complexo do que o do *Neurosky* no que se refere à colocação na cabeça dos participantes e calibração dos eletrodos, optou-se por esse. Essa escolha foi influenciada pelo fato de se considerá-lo um equipamento mais robusto que o *Neurosky Mindwave* no que se refere a amostragem espacial e temporal do sinal bruto, e por usa vez, gera uma quantidade maior de medidas em um período menor de tempo, a melhor qualidade de registro dos eletrodos.

Desta forma, assim como no estudo [STO12], foram explorados recursos existentes no *Emotiv EEG*, diferente de outros estudos, que constam na revisão sistemática, e que não utilizaram recursos de reconhecimento de padrões oferecidos pelo equipamento.

Entretanto, diferentemente de [STO12], foram utilizados recursos do módulo *Affective Suite* ao invés do *Expressive Suite*. A saber, no *Expressive Suite*, basicamente, são reconhecidas expressões faciais, como sorriso, movimento das sobrancelhas, piscar e movimento dos olhos. É possível considerar que estas são características presentes em sinais de Eletromiografia (EMG) e Eletro-oculografia (EOG). Já o *Affectiv Suite* é o módulo que monitora em tempo real as emoções subjetivas vivenciadas pelo usuário, baseada nas ondas cerebrais, sendo possível detectar: engajamento, meditação, frustração, excitação instantânea e excitação em longo prazo. A detecção de engajamento consegue apurar medidas como estado de alerta, vigilância, concentração, estimulação e interesse. A detecção de excitação instantânea consegue apurar medidas como excitação, nervosismo e agitação. Por fim, a detecção de excitação em longo prazo apura as mesmas medidas da detecção anterior, mas seu diagnóstico costuma ser mais preciso, uma vez que ele analisa essas medidas em um prazo maior de tempo (em minutos). A detecção de meditação representa o nível de relaxamento ou estresse. Já a medição de frustração reconhece o que o próprio nome diz [EMO16]. Para todas as detecções, os valores são representados na escala de 0 a 1, considerando 1 uma forte existência da emoção, e 0 a ausência. Ainda, uma mesma detecção pode apontar emoções distintas, como a detecção de meditação, no qual valores próximos de 1 indicam relaxamento mental, e próximo de 0, representa estresse ou desconforto. Todos os recursos do *Affective Suite* são armazenados durante a execução do experimento, em uma taxa de amostragem aproximada de 4 valores por segundo para cada uma das detecções. O tempo em que cada amostragem é realizada também é armazenada, o que possibilita a sincronização destes dados com os dos ensaios da tarefa.

A tarefa foi desenvolvida utilizando o motor de jogos *Unity 3D* [UNI16], que foi escolhida por experiência dos pesquisadores com a ferramenta, que, além de facilitar o processo de criação visual, possui elementos que possibilitam facilmente a comunicação da tarefa em um ambiente cliente/servidor. Para armazenamento dos dados coletados foi utilizado o banco de dados embutido *SQLite* [SQL16]. No banco de dados foram criadas duas tabelas, uma exclusivamente para guardar as informações advindas do *Emotiv*, chamada de *NeuroData*. Já a tabela *TaskData*, armazena informações referentes a cada ensaio, como, por exemplo, o tempo geral em que cada estímulo da tarefa foi exibido, e o tempo de reação do participante naquele ensaio. Através dos campos *id_user*, que indica o participante, *id_trial*, que indica o índice do ensaio do participante, e o *time*, que apresenta

o tempo geral, ambos campos presentes nas duas tabelas, foi possível realizar a sincronização dos estímulos e os registros das medidas neurais. As tabelas citadas são apresentadas na Figura 11.



The image shows two database table schemas side-by-side. The left table is 'NeuroData' and the right is 'TaskData'. Both tables have a blue header with a dropdown arrow. Each table contains a list of fields with their data types, each preceded by a diamond icon.

Table	Field Name	Data Type
NeuroData	id_user	INT
	id_trial	INT
	time	VARCHAR(45)
	engaged_bored	VARCHAR(45)
	excitement	VARCHAR(45)
	excitement_long_term	VARCHAR(45)
	meditation	VARCHAR(45)
	frustration	VARCHAR(45)
TaskData	id_user	INT
	id_trial	INT
	fixation	VARCHAR(45)
	black01	VARCHAR(45)
	set01	VARCHAR(45)
	mask	VARCHAR(45)
	black02	VARCHAR(45)
	set02	VARCHAR(45)
	black03	VARCHAR(45)
	answer	BOOL
	rt	VARCHAR(45)

Figura 11 - Tabelas do banco de dados desenvolvido.

Autor: Do autor.

Para acesso aos dados do *Affectiv Suite* do *Emotiv EEG* foi utilizado o software *Mind your OSCs* [MIN16], que acessa a *engine* do *Emotiv*, coleta os dados registrados e os disponibiliza via protocolo *OSC*. Atualmente, existe somente uma biblioteca paga para *Unity*, que torna possível a integração com o *Emotiv*. Como a biblioteca não estava disponível, optou-se pela utilização do *Mind your OSCs*. Desta maneira, foram criados scripts no *Unity*, que, além de controlar a tarefa, também realizaram a comunicação com o *Mind Your OSCs*, e com o banco de dados *SQLite*. Um diagrama do ambiente criado é apresentado na Figura 12.

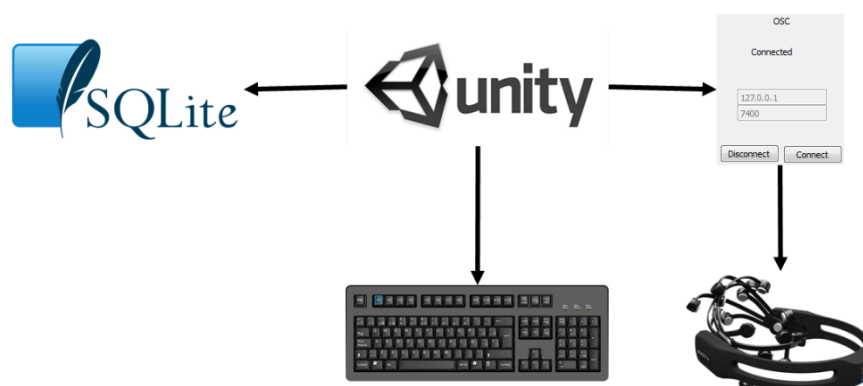


Figura 12 - Ambiente do experimento

Autor: Do autor.

4.3. Tarefa

Cada participante executou uma sequência de 2 etapas, contendo, cada uma, 56 ensaios. A tarefa foi dividida em duas etapas, inicialmente, pois acreditava-se que a execução sequencial dos 112 ensaios seria cansativa e poderia degradar o desempenho do participante. Cada ensaio inicia com a apresentação de uma cruz de fixação branca centralizada na tela do computador com duração de 1 segundo. Isso permite ao participante se preparar para a apresentação dos estímulos. Em seguida, são apresentadas duas telas, cada uma contendo um conjunto de imagens que são formas geométricas. O primeiro conjunto de imagens aparece por aproximadamente 80ms e é imediatamente seguido de uma máscara por 250ms. A máscara serve para apagar qualquer resquício visual do primeiro conjunto. Após 1 segundo, é mostrado o segundo conjunto por 100ms. Na sequência, o participante deve decidir, o mais rápido possível, se os dois conjuntos são idênticos ou diferentes. As respostas são dadas através de um teclado convencional padrão *QWERTY* posicionado a frente do usuário. A tecla F deve ser utilizada para indicar conjuntos iguais de imagens enquanto a tecla J deve indicar conjuntos diferentes. Essas teclas foram utilizadas por possuírem marcação em alto relevo, diferenciando-as no teclado. O tempo de resposta de cada decisão é armazenado. O próximo ensaio demora 5 segundos para começar, após o aparecimento do segundo conjunto de elementos. A Figura 13 ilustra essa dinâmica.

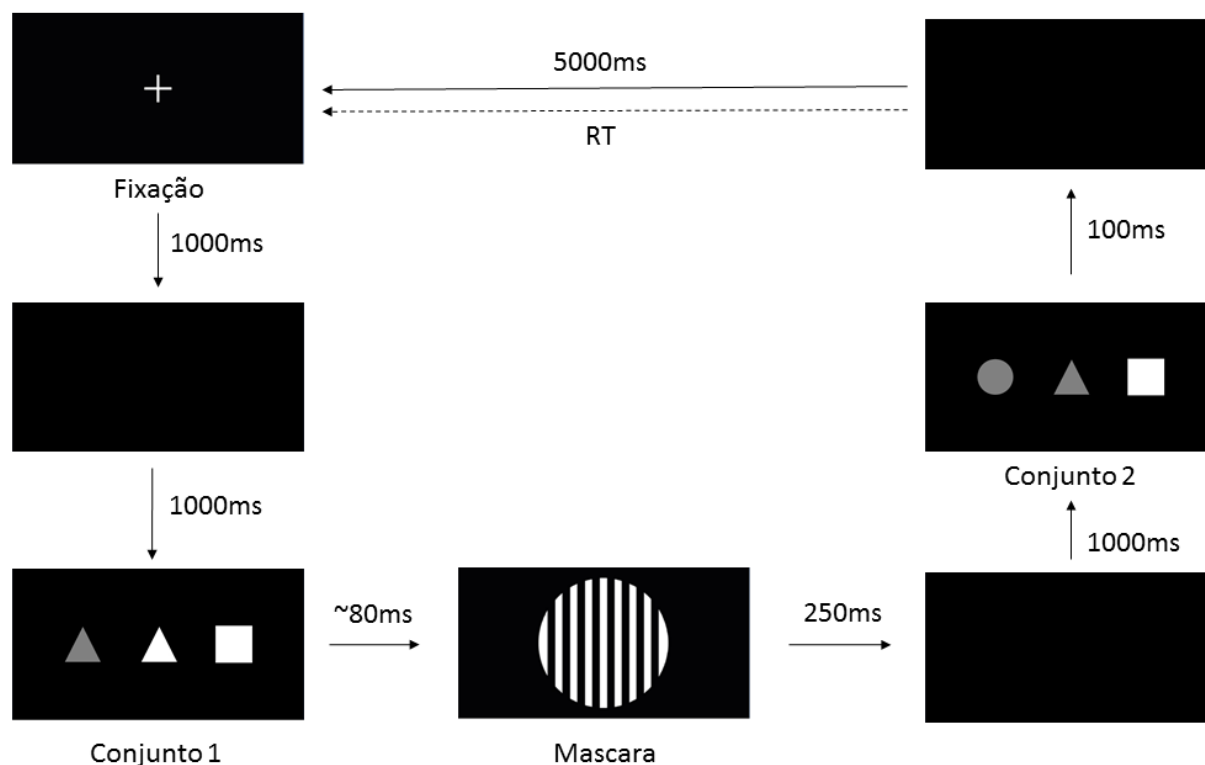


Figura 13 -Tarefa desenvolvida

Autor: Do autor.

Cada conjunto é composto por 3 formas geométricas, que podem ser qualquer combinação entre triângulos, quadrados e círculos. Cada forma pode assumir uma das cores, branco (1,1,1) ou cinza (0.65,0.65,0.65). Com isso, pode-se dizer que cada um dos três elementos dentro de um conjunto possui duas características, cor e forma. Portanto, cada conjunto possui um total de $(2 \times 3)^3 = 216$ possibilidades de combinação distintas. Se forem considerados os dois conjuntos de um ensaio, tem-se $216^2 = 46.656$ possíveis combinações. Neste sentido, características podem ser compartilhadas, ou seja, quando elas ocorrem na mesma posição nos dois conjuntos de um ensaio.

Desta maneira, cada par de conjunto de um ensaio é classificado pelo número dessas características compartilhadas, que é chamado de Grau de Similaridade (GS). Se todos os elementos do primeiro conjunto forem distintos dos elementos do segundo conjunto, tem-se um $GS=0$. No caso de um elemento compartilhar uma característica, como, por exemplo, a mesma cor, tem-se um $GS=1$. Desta maneira, o GS de cada ensaio pode variar de 0 até 6. Para exemplificar, apresenta-se a Figura 14, que possui na primeira posição do primeiro conjunto com um triângulo cinza. No segundo conjunto, a primeira

posição possui um círculo cinza. Neste caso, os dois elementos compartilham uma característica, a cor. Ainda, no segundo conjunto, o segundo elemento é um triângulo cinza. Apesar de apresentarem a mesma forma e cor, o triângulo do primeiro conjunto não compartilha características com o do segundo conjunto, uma vez que não estão na mesma posição.

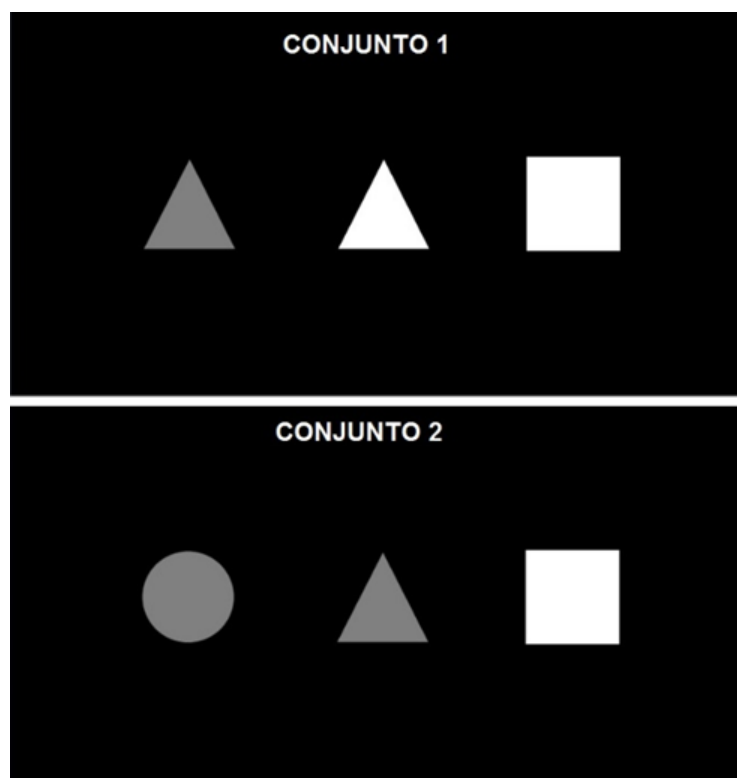


Figura 14 - Conjuntos de estímulos.

Autor: Do autor.

A combinação de elementos do primeiro conjunto é randomicamente gerada. Buscando produzir um experimento proporcional em nível de dificuldade, para o segundo conjunto, foram adotadas algumas restrições na randomização das combinações, utilizando os valores de GS para definir a dificuldade de cada ensaio, e, assim, gerar proporções iguais de cada nível de GS no experimento. Neste caso, o experimento teve na sua totalidade de ensaios um valor múltiplo de 7, que representa a quantidade de GS possível, totalizando 96 conjuntos diferentes e 16 conjuntos idênticos. Após a geração dos conjuntos de elementos para os ensaios, estes foram armazenados para serem utilizados com todos os participantes, de forma que executassem o mesmo experimento, aumentando a repetitividade e reprodutibilidade.

O tempo de exibição do primeiro conjunto de elementos é baixo, abaixo do que seria necessário normalmente para a sua completa memorização, de acordo com [SPE13]. Entretanto, foi assim definido porque uma das hipóteses do estudo é verificar se o nível de atenção requerido para a tomada de decisão precisaria ser mais alto para decisões corretas. Isso também pode colaborar para identificação do nível de confiança do participante, que, ao não identificar todos os componentes do conjunto, poderá ficar com dúvidas, e apresentar um tempo de reação maior, assim como está descrito no estudo de [POL14]. Em comparação com [POL14], foi aumentado o tempo de espera após a resposta, para que fosse possível o registro das características, principalmente, de frustração e estresse. Nota-se que o segundo conjunto de elementos é exibido em tempo suficiente para a identificação de alvos, de acordo com [SPE13].

4.4. Procedimentos

O experimento ocorreu em ambiente controlado, em uma sala fechada, com uma mesa, na qual foram colocados um computador portátil, que executa as aplicações, um monitor de 19 polegadas, um *mouse* e um teclado convencionais, um *Emotiv EEG*, que foi conectado ao computador através do adaptador *wireless*, e duas cadeiras. Durante os experimentos, somente o participante e o avaliador permaneceram na sala. A tela do computador portátil foi utilizada pelo avaliador, para o monitoramento, enquanto o monitor de 19 polegadas foi utilizado pelo participante na utilização da tarefa. Todas as avaliações foram realizadas individualmente.

Para cada uma das avaliações, houve a configuração prévia do ambiente, que durou cerca de 40 minutos. Este processo levou em consideração a organização do ambiente, configuração das aplicações e preparação do *Emotiv*. Esta etapa é fundamental ao experimento porque a má hidratação e posicionamento incorreto dos eletrodos pode gerar ruído nos sinais capturados pela *Affective Suite*, ou a falta de comunicação do *Emotiv* com a aplicação de coleta de dados ou com a aplicação das tarefas pode gerar a falta de registro de algum dado.

Com o ambiente configurado, o pesquisador explicou a cada participante os objetivos da pesquisa, os procedimentos de coleta de dados, a confidencialidade dos dados coletados, duração estimada do experimento, desconfortos que poderiam ser sentidos durante a realização das tarefas, dentre outras informações. A participação somente ocorreu após a manifestação de concordância do participante, registrada no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido da pesquisa, TCLE (Apêndice B).

Foi aplicado o questionário pré-teste e, após, o pesquisador posicionava o *Emotiv* na cabeça do participante, testava se todos os eletrodos estavam corretamente colocados e explicava a tarefa que deveria ser executada. A colocação do equipamento ocorreu antes da realização da tarefa propriamente dita para que o mesmo, durante a explicação da tarefa, se auto-calibrasse ao participante, como recomenda o fabricante do equipamento. Em seguida, o participante posicionava-se em frente ao monitor, com os dedos indicadores sob as teclas F e J. Após, o avaliador iniciava a tarefa. Depois de executadas as 56 primeiras tentativas, o usuário respondia o questionário referente a sua percepção sobre a primeira etapa. Concluído o preenchimento, o voluntário executava a segunda etapa do experimento, e respondia ao segundo questionário. Por fim, o participante preenchia o questionário final, sobre sua percepção geral do experimento. Somente ao final é que o equipamento era removido da cabeça do participante. Este processo levou cerca de 40 minutos para cada participante.

A Figura 15 ilustra a participação de um participante no ambiente controlado.



Figura 15 - Ambiente do experimento

Autor: Do autor.

4.5. Estudo piloto

Esse estudo foi realizado com 3 participantes, em dois momentos distintos da pesquisa, também escolhidos por conveniência e disponibilidade. Foi intencional porque o

pesquisador, utilizando seus julgamentos, direcionou o convite para um grupo de usuários com o seguinte perfil: sem uso prévio com ICC, sem fotossensibilidade, e sem experiência em jogos de atenção.

O primeiro estudo piloto foi realizado somente com um participante e teve como objetivo analisar o protocolo de coleta de dados, o TCLE, os instrumentos e o sistema. Houve alterações no TCLE, nos questionários, na captura dos dados da aplicação. O TCLE não continha algumas informações obrigatórias da Resolução 466/2012 [BRA12]. A coleta dos dados esteve relacionada somente à Etapa 1 da aplicação. Foi verificado que faltaram informações para conseguir analisar alguns dados e foram incluídas questões com respostas baseadas em escalas de diferencial semântico, que apresentam pares de palavras em uma faixa de opiniões bipolares sobre determinados itens. Também foi incluída uma seção para comparar a percepção do usuário entre as etapas realizadas.

O segundo estudo piloto envolveu 2 participantes. No questionário pré-teste, foi alterada a questão relacionada à idade do participante para que incluísse faixa etária, foram acrescentadas questões para registrar sobre fotossensibilidade e habilidade no uso das mãos para interagir com o teclado e *smartphone*. O questionário pós-teste foi reorganizado para que fosse aplicado após cada etapa da realização das tarefas (Etapa 1 e Etapa 2).

A realização desses testes prévios permitiu identificar e corrigir problemas, e outros em potencial, que poderiam prejudicar a realização do estudo principal por falta de coleta de informações ou por não estarem em linguagem facilmente compreensível. Também permitiu ao pesquisador se familiarizar com o processo de coleta de dados.

5. ANÁLISE DOS DADOS

Os experimentos foram realizados entre julho e agosto de 2016, nas cidades de Porto Alegre, RS e Novo Hamburgo, no Rio Grande do Sul.

Inicialmente, a amostra foi composta por 11 participantes, que responderam aos questionários e realizaram as atividades. Entretanto, na análise dos *logs* da ICC, pode-se perceber que todos os dados de um participante não haviam sido gravados pela ICC. Portanto, esse participante foi desconsiderado da amostra final. Por outro lado, optou-se por manter os dados de outro participante, que não teve apenas os sinais de frustração registrados pela ICC. Assim, a amostra final foi composta por 10 participantes.

5.1. Perfil dos participantes

O questionário referente ao perfil dos participantes conteve 8 questões obrigatórias, além do nome e um identificador, que eram preenchidos pelo pesquisador.

Dos 10 participantes do experimento, 9 eram do gênero masculino e 1 do gênero feminino. 8 Participantes possuem de 18 a 27 anos e 2 participantes possuem entre 28 e 37 anos. Quanto à nacionalidade, 9 eram brasileiros e um era colombiano. Nenhum participante indicou ser fotossensível, desta forma, não possuem sensibilidade à luz.

No que se refere ao uso das mãos, todos indicaram ser destros e informaram que a mão direita é a que, preferencialmente, manejam o *mouse* e os botões do *mouse*. No que se refere ao uso geral do teclado, 4 participantes informaram utilizar as duas mãos e todos os dedos dessas e escrever sem olhar o teclado, 2 informaram utilizar a mão esquerda e todos os dedos dessa, sendo que um não olha para o teclado enquanto digita, 2 participantes utilizam somente a mão direita e todos os dedos dessa, e outros 2 não informaram a mão que geralmente utilizam para escrever, mas informaram digitar sem olhar o teclado. Já para escrever mensagens no *smartphone*, 8 participantes indicaram usar as duas mãos e, predominantemente, um dedo de cada mão, e 2 participantes indicaram utilizar somente a mão direita e, predominantemente, um dedo dessa mão para escrever as mensagens.

Questionados sobre a frequência de uso de jogos de percepção na semana anterior ao experimento, a maioria informa que não fez uso desse tipo de jogo, conforme ilustra a Figura 16.

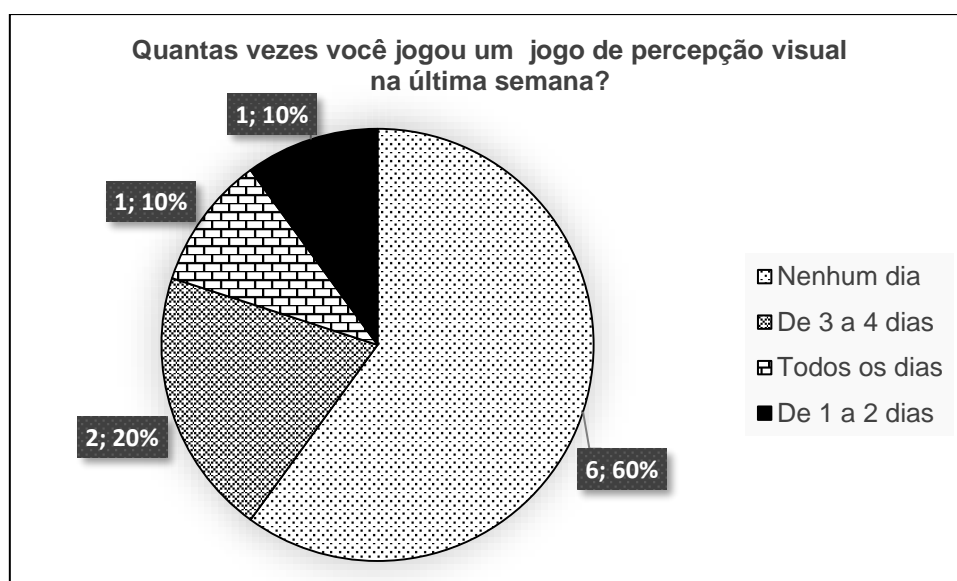


Figura 16 - Frequência de uso com jogos de percepção visual

Autor: Do autor.

5.2. Questionário Etapa 1

A explicação das questões do Questionário Etapa 1 foi realizada antes da realização das atividades da Etapa 1. Esse procedimento foi adotado para que o participante tivesse conhecimento do que deveria responder e observar durante a realização dessa etapa. Durante todo o momento, o participante se manteve com a ICC conectada e em funcionamento para evitar que a mesma precisasse ser novamente calibrada.

Este questionário conteve 6 questões, sendo 4 de múltipla escolha, 1 com respostas baseadas em escalas de diferencial semântico, e outra aberta, que são discutidas a seguir.

Você sentiu sensações de incômodo visual:

Os participantes foram questionados se sentiram sensações de incômodo visual durante a realização da tarefa. A maioria (60%) (Participantes 4, 5, 7, 10, 11 e 12) informou que não teve, 2 (20%) participantes (Participantes 6 e 9) informaram ter tido mais no início da tarefa, um (10%) (Participante 2) informou que teve mais ao final da tarefa e outro (10%) (Participante 3) informou que teve, mas, mesmo não tendo especificado o momento, acredita-se que tenha sido durante o decorrer da tarefa porque ele sugeriu que a luminosidade do ambiente pudesse ser mais escura. A Figura 17 ilustra as respostas.

Ainda, comparando as respostas dos participantes com suas taxas de acerto e erro entre as etapas do experimento, não se pode afirmar que tais sensações percebidas pelos participantes refletiram no seu desempenho.

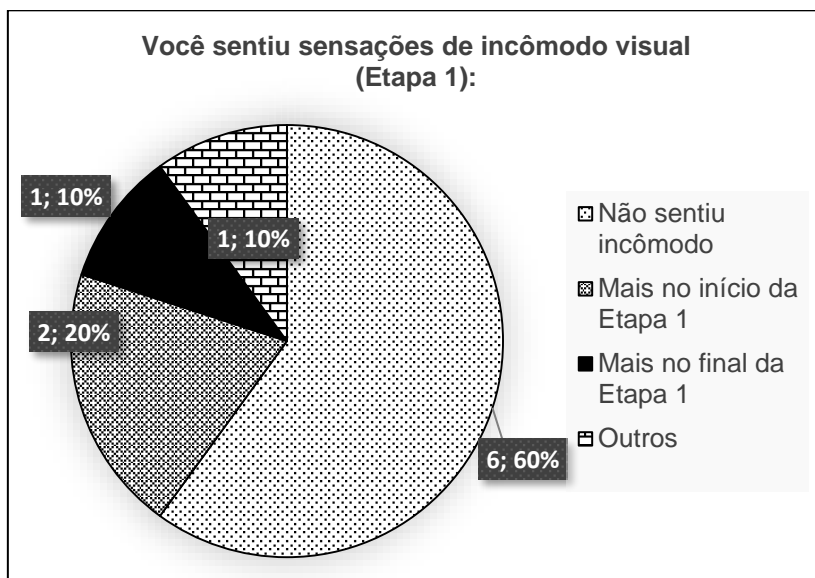


Figura 17 - Questionário Etapa 1 – Questão 1

Autor: Do autor.

No geral, sobre o uso de teclas do teclado para indicar as escolhas "iguais" e "diferentes", você considera que foi:

A faixa de respostas teve uma escala de 1 até 5, representando do mais difícil (1) para mais fácil (5). A média das respostas foi 4,1, indicando que o uso das teclas F e J foram consideradas fáceis de serem utilizadas (Figura 18).

O Participante 5 foi o único que considerou o uso das teclas mais difícil do que fácil, mesmo tendo indicado que faz uso do teclado sem olhar as teclas. Destaca-se que esse participante foi o que obteve a melhor taxa de acerto na Etapa 1, tendo 91% de acerto (51 questões). Foi o participante que obteve o melhor índice de acerto geral (88,4% - 99 questões).

Os participantes que consideraram as teclas F e J de fácil uso, tiveram seus níveis de taxas de acerto próximos à média, um pouco acima ou abaixo.

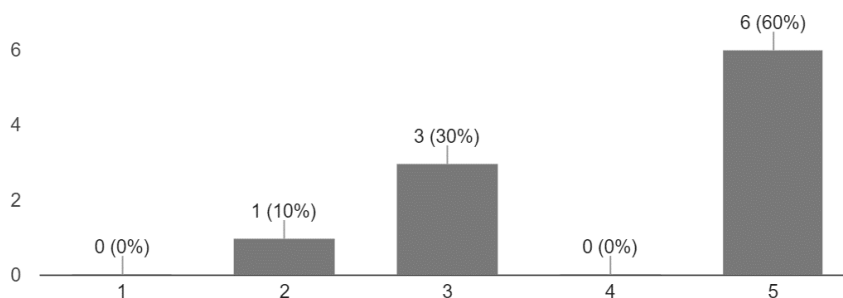


Figura 18 - Questionário Etapa 1 – Questão 2

Autor: Do autor.

No geral, como você se sentiu durante a realização dos desafios?

Esta questão foi desmembrada em 8 questões, aplicadas com escalas de diferencial semântico, conforme segue, sendo as respostas registradas de 1 até 5:

- Distraído (1) x atento (5): a média foi 4,1, demonstrando que os participantes se sentiram mais atentos do que distraídos na realização dos desafios (Figura 19). Somente o Participante 5, que considerou o uso das teclas mais difíceis de serem utilizadas, indicou ter estado mais distraído do que atento na realização da Etapa 1.
- Descomprometido (1) x engajado (5): a média foi 4,4, demonstrando que os participantes se sentiram mais engajados do que descomprometidos na realização dos desafios (Figura 20).
- Frustrado (1) x satisfeito (5): considerando que 3 é o ponto central da escala e a média foi 3,4, demonstra que os participantes se sentiram um pouco mais satisfeitos do que descomprometidos na realização dos desafios (Figura 21). Somente o Participante 2 indicou que esteve frustrado na realização das atividades, entretanto, sua taxa de acertos na Etapa 1 esteve na média (82,1% e 46 questões).
- Entediado (1) x excitado (5): a média foi 4,2, demonstrando que os participantes se sentiram mais excitados do que entediados na realização dos desafios (Figura 22).
- Estressado (1) x relaxado (5): considerando o ponto central da escala e que a média foi 3,3, demonstra que os participantes se sentiram um pouco mais relaxados do que estressados na realização dos desafios (Figura 23). Os

Participantes 2, 5, 11 e 12 indicaram estar mais estressados do que relaxados na realização da Etapa 1. Desses, o Participante 12 apresentou a taxa de acertos mais baixa, sendo de 58,9%, que equivale a 33 acertos. No final do experimento, sua média subiu para 67,9%, com um total de 76 acertos.

- Nervoso (1) x calmo (5): a média foi 3,7, demonstrando que os participantes se sentiram um pouco mais calmos do que nervosos na realização dos desafios (Figura 24). Os Participantes 2, 5 e 11 indicaram estar mais nervosos do que calmos, sendo que já haviam indicado que estavam mais estressados do que relaxados.
- Irritado (1) x tranquilo (5): a média foi 4,2, demonstrando que os participantes se sentiram mais tranquilos do que irritados na realização dos desafios (Figura 25). Somente o Participante 2 indicou estar mais irritado do que tranquilo.
- Inseguro (1) x seguro (5): a média foi 3,8, demonstrando que os participantes se sentiram mais seguros do que inseguros na realização dos desafios (Figura 26). Os Participantes 2 e 5 indicaram estar mais inseguros do que seguros na realização das atividades da Etapa 1. Por outro lado, destaca-se que a taxa de acerto do Participante 2 foi de 82,1% e 46 acertos, que foi a média dos participantes na Etapa 1. Já o Participante 1 foi o que obteve a melhor taxa de acertos na Etapa 1, que foi de 91,1% e 51 acertos.

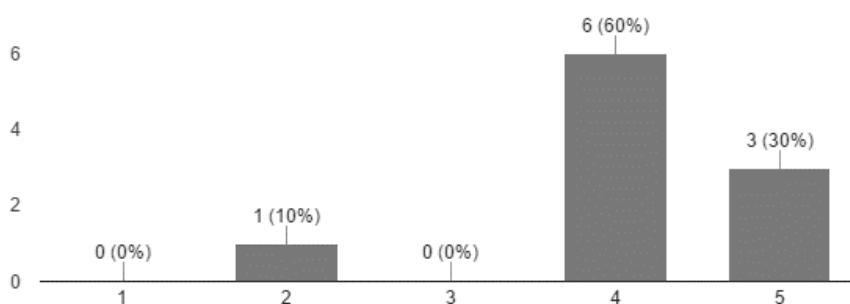


Figura 19 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Distraído (1) x atento (5)

Autor: Do autor.

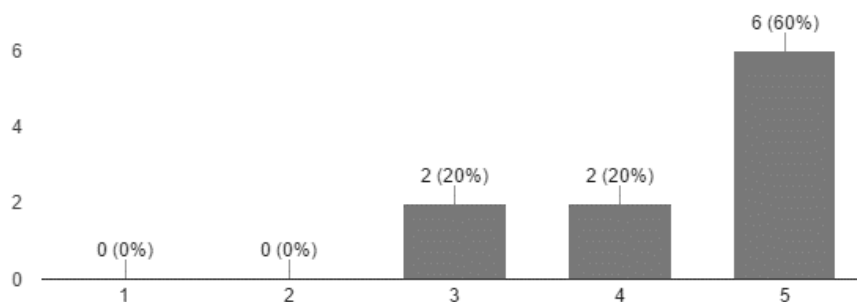


Figura 20 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Descomprometido (1) x engajado (5)

Autor: Do autor.

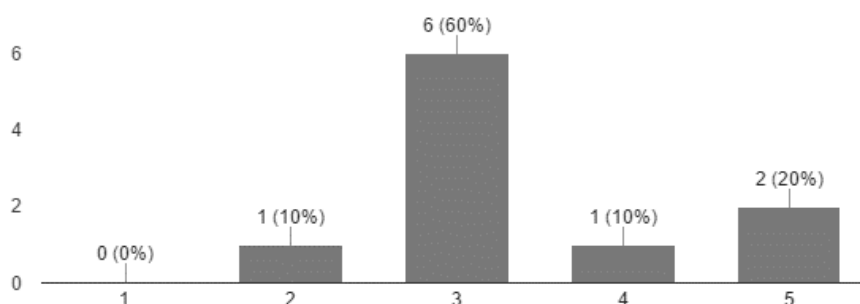


Figura 21 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Frustrado (1) x satisfeito (5)

Autor: Do autor.

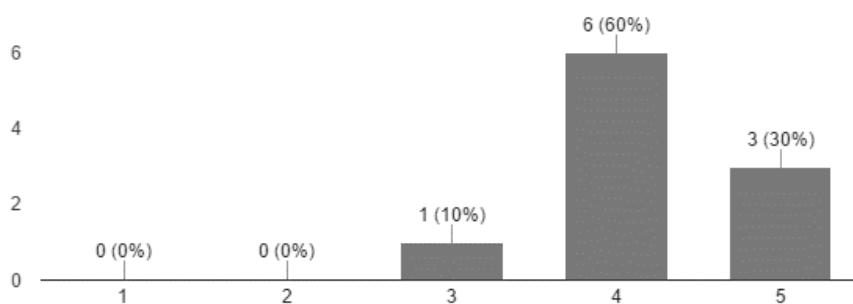


Figura 22 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Entediado (1) x excitado (5)

Autor: Do autor.

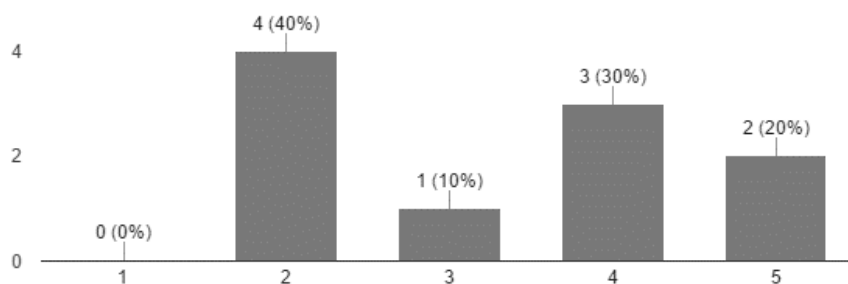


Figura 23 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Estressado (1) x relaxado (5)

Autor: Do autor.

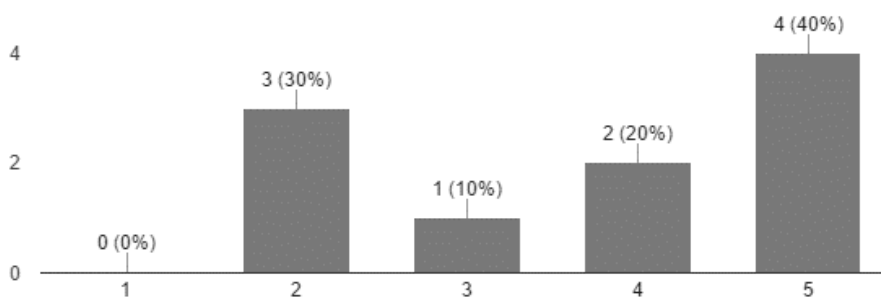


Figura 24 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Nervoso (1) x calmo (5)

Autor: Do autor.

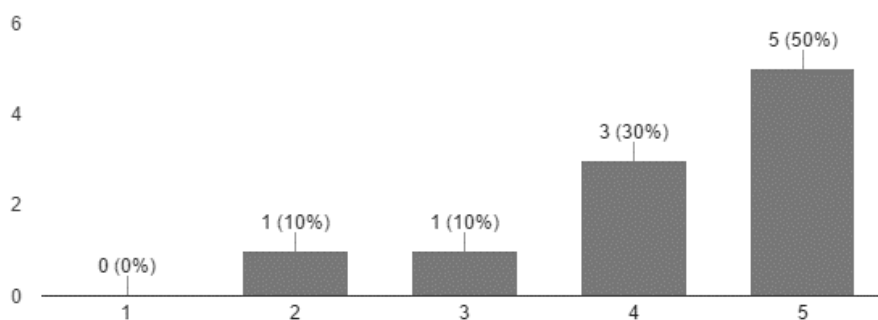


Figura 25 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Irritado (1) x tranquilo (5)

Autor: Do autor.

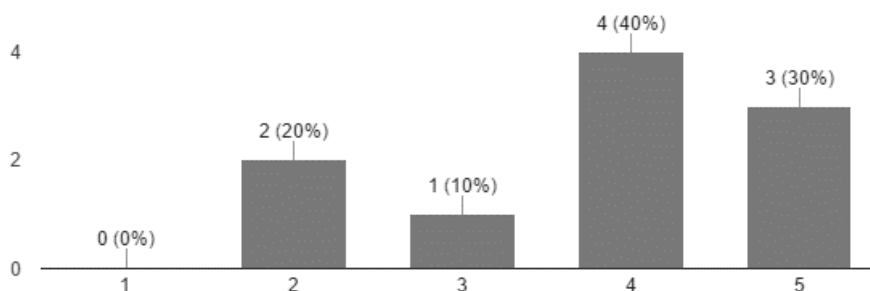


Figura 26 -Questionário Etapa 1 – Questão 3 - Inseguro (1) x seguro (5)

Autor: Do autor.

Alguma dessas sensações variou ao longo da realização dos desafios? Por exemplo, você acha que iniciou tendo uma sensação e ela se alterou na medida em que foi resolvendo os desafios? Você considera que alguma dessas sensações somente surgiu em determinado momento da realização da Etapa 1? Explique, destacando a(s) sensação(ões) e, se possível, identificando se foi mais no início, durante ou no final da Etapa 1.

Esta era a única questão aberta do primeiro questionário. Um (10%) dos participantes (Participante 6) somente informou que não houve variação das sensações e outro (10%) (Participante 12) somente informou as palavras “Engajado” e “Seguro”, não trazendo mais informações. Seguem os depoimentos dos demais participantes.

- *Sim, no início a atenção era menor, até começar a entender melhor o funcionamento da atividade. A atenção e o engajamento foram melhorando com o passar da atividade. Tentei criar uma estratégia para melhor identificar os padrões diferentes, tentando me focar mais nos símbolos que estavam à direita, pois normalmente a leitura ocidental é da esquerda para a direita e o foco inicial estavam na leitura dos símbolos nessa ordem, porém devido ao tempo ser muito rápido, no início, tive muitas dúvidas na identificação. Mas por fim, foi mais tranquilo e intuitivo. [Participante 3]*
- *Distraído/atento - me distrai em alguns momentos com o número do tempo de resposta imaginando ser algum tipo de pontuação. Inseguro/seguro - no início achei que poderia não estar fazendo corretamente, mas logo passou a sensação de insegurança e fiquei mais seguro. [Participante 4]*
- *Creio que ao longo do desafio fui me concentrando mais. [Participante 7]*

- *No início comecei mais desatento, à medida que as imagens foram passando percebi que precisava de mais atenção.* [Participante 9]
- *O nível de certeza foi aumentando com o passar o experimento.* [Participante 10]
- *Aumento da segurança ao chegar ao final do teste.* [Participante 11]
- *Todas as sensações foram relativamente estáveis durante todo o teste.* [Participante 5]
- *Comecei apavorada por não conseguir ver as formas a tempo, ao longo do experimento essa sensação foi melhorando.* [Participante 2]

No geral, você acha que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os "iguais" ou os "diferentes"?

Conforme já descrito, essa etapa possuiu 56 duplas de telas (conjunto de estímulos), sendo que 8 representavam telas iguais e 48 diferentes. A maioria dos participantes (80%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11) considera que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os diferentes, um participante (10%) (Participante 12) considera que sua taxa foi melhor em identificar os iguais, e outro (10%) (Participante 6) considera não há diferença significativa em identificar iguais ou diferentes. Estes resultados demonstram que os participantes têm consciência da dificuldade de observar pequenos detalhes nos estímulos, demonstrando a eficiência da tarefa proposta. A Figura 27 ilustra essas respostas.

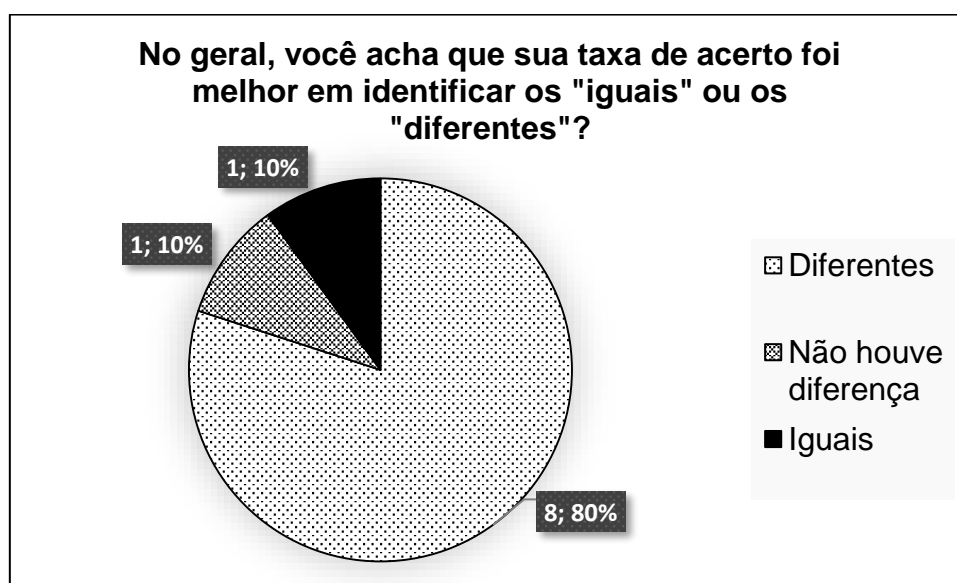


Figura 27 -Questionário Etapa 1 – Questão 5

Autor: Do autor.

Você acha que sua taxa de acerto foi melhor em que fase da Etapa 1?

A maioria (80%) (Participante 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11 e 12) considera que sua taxa de acerto foi melhor na fase final da etapa, indo ao encontro dos depoimentos já informados. Destes, apenas o participante 3 não teve sua resposta confirmada, sendo que na primeira metade da Etapa 1 efetuou 23 acertos, e na segunda metade acertou 21 vezes. Um (10%) (Participante 5) acha que não houve diferença significativa na sua taxa de acerto, confirmado pelos acertos, sendo 25 em cada metade da etapa 1. Outro (10%) (Participante 7) não soube informar, sendo que teve um aumento de 6 acertos na metade final da etapa 1. A Figura 28 ilustra essas respostas.

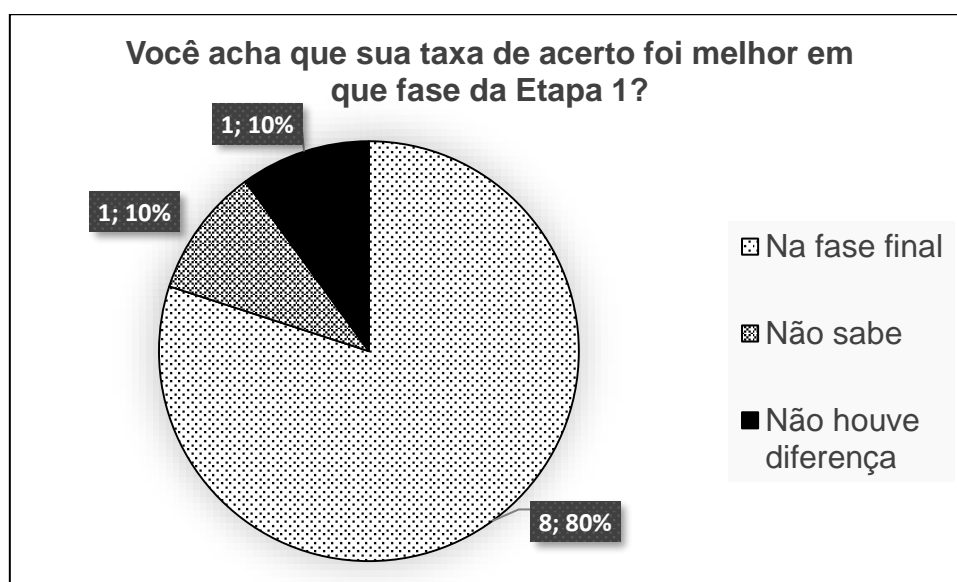


Figura 28 - Questionário Etapa 1 – Questão 6

Autor: Do autor.

5.3. Questionário Etapa 2

O procedimento adotado na segunda etapa foi o mesmo da etapa anterior. Ou seja, antes de iniciar a bateria de testes, foi lido e explicado o questionário, que continha 6 questões idênticas ao do questionário anterior, que são discutidas a seguir.

Você sentiu sensações de incômodo visual:

Os participantes foram questionados se sentiram sensações de incômodo visual durante a realização da tarefa. As respostas estão ilustradas na Figura 29.

- 4 participantes (40%) (Participantes 2, 4, 6 e 7) informaram que tiveram mais incômodo visual no final da etapa. Desses, o Participante 2 também já havia

indicado ter tido somente no final da Etapa 1, os Participantes 4 e 7 não haviam indicado incômodo na Etapa 1, e o Participante 6 havia indicado ter tido no início da Etapa 1.

- 4 participantes (40%) (Participantes 5, 9, 10 e 11) não tiveram incômodo. Desses, as Participantes 5, 10 e 11 também não indicaram incômodos na Etapa 1. E o Participante 9 havia indicado incômodo no início da Etapa 1.
- 1 participante (10%) (Participante 12) informou que teve mais ao início da etapa, sendo que não havia indicado incômodo durante a realização da Etapa 1.
- Outro (10%) (Participante 3) não especificou em qual momento houve incômodo visual, mas continuou registrando sugestão para que o ambiente de teste fosse menos claro.

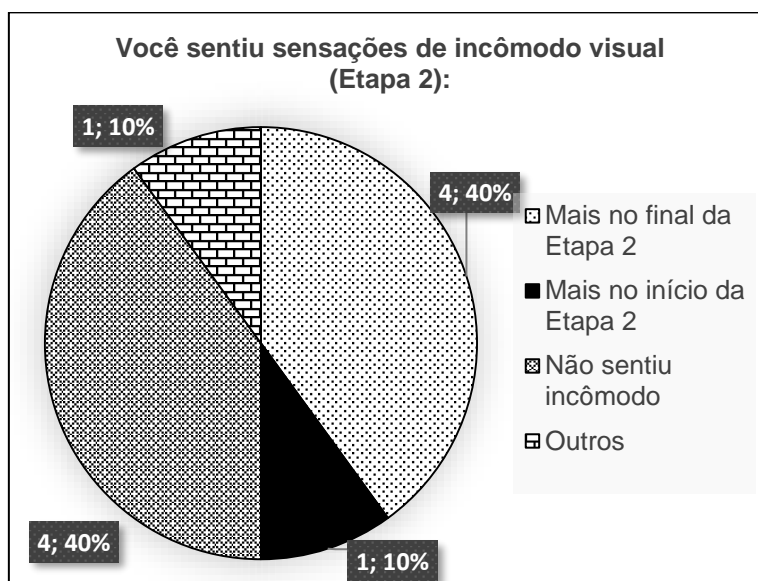


Figura 29 - Questionário Etapa 2 – Questão 1

Autor: Do autor.

No geral, sobre o uso de teclas do teclado para indicar as escolhas "iguais" e "diferentes", você considera que foi:

A faixa de respostas teve uma escala de 1 até 5, representando do mais difícil (1) para mais fácil (5). A média das respostas foi 4,4, sendo que a maioria dos participantes manteve suas avaliações. Os participantes 5 e 12 consideraram que o uso dessas teclas ficou mais fácil na Etapa 2. Desta forma, considerando que, a média da Etapa 1 foi de 4,1,

pode-se inferir que o uso das teclas, ao longo do experimento, facilitou seu aprendizado e uso. A Figura 30 ilustra a distribuição das respostas dos participantes.

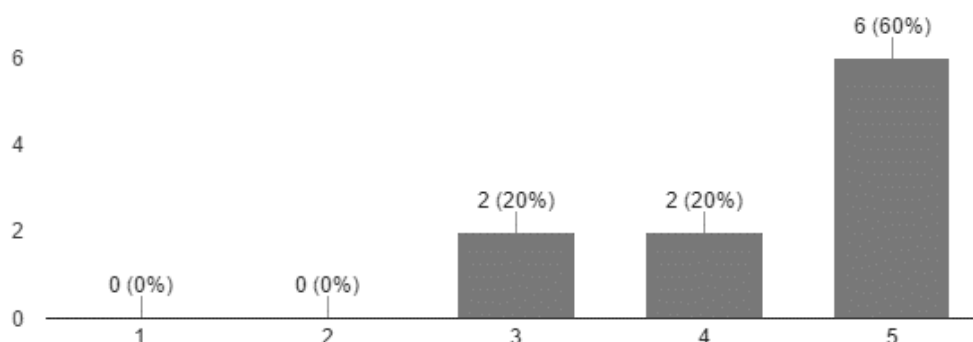


Figura 30 -Questionário Etapa 2 – Questão 2

Autor: Do autor.

No geral, como você se sentiu durante a realização dos desafios?

Esta questão foi desmembrada em 8 questões, aplicadas com escalas de diferencial semântico, conforme segue, sendo as respostas registradas de 1 até 5:

- Distráido (1) x atento (5): a média foi 4,3, demonstrando que os participantes se sentiram mais atentos do que distraídos na realização dos desafios (Figura 31). Somente os Participantes 4 e 6 indicaram ter diminuído a atenção, de 4 para 3 e de 5 para 3, respectivamente. Os demais indicaram um aumento (Participantes 3, 5, 9 e 11) ou mantiveram o mesmo nível da Etapa 1 (2, 7, 10, 12).
- Descomprometido (1) x engajado (5): a média foi 4,6, demonstrando que os participantes se sentiram mais engajados do que descomprometidos na realização dos desafios (Figura 32).
- Frustrado (1) x satisfeito (5): considerando que 3 é o ponto central da escala e a média foi 3,7, demonstra que os participantes se sentiram um pouco mais satisfeitos do que descomprometidos na realização dos desafios (Figura 33).
- Entediado (1) x excitado (5): a média foi 4,2, demonstrando que os participantes se sentiram mais excitados do que entediados na realização dos desafios (Figura 34).

- Estressado (1) x relaxado (5): considerando o ponto central da escala e que a média foi 3,6, demonstra que os participantes se sentiram um pouco mais relaxado do que estressados na realização dos desafios (Figura 35).
- Nervoso (1) x calmo (5): a média foi 3,6, demonstrando que os participantes se sentiram um pouco mais calmos do que nervosos na realização dos desafios (Figura 36).
- Irritado (1) x tranquilo (5): a média foi 4, demonstrando que os participantes se sentiram mais tranquilos do que irritados na realização dos desafios (Figura 37).
- Inseguro (1) x seguro (5): a média foi 4, demonstrando que os participantes se sentiram mais seguros do que inseguros na realização dos desafios (Figura 38).

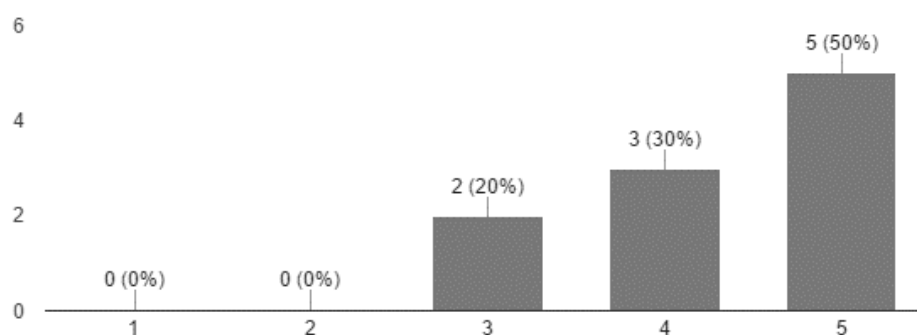


Figura 31 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Distraído (1) x atento (5)

Autor: Do autor.

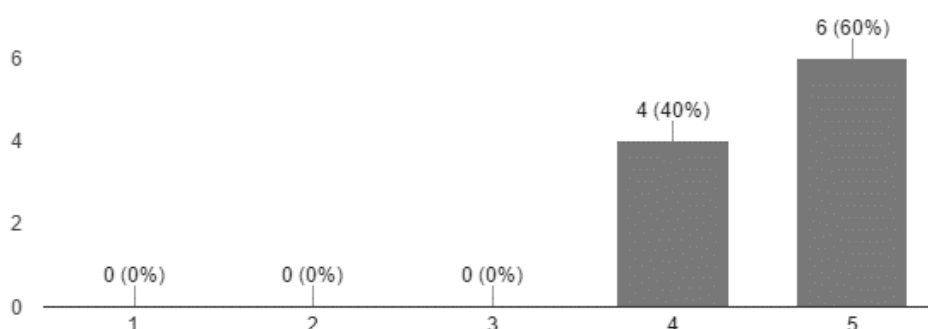


Figura 32 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Descomprometido (1) x engajado (5)

Autor: Do autor.

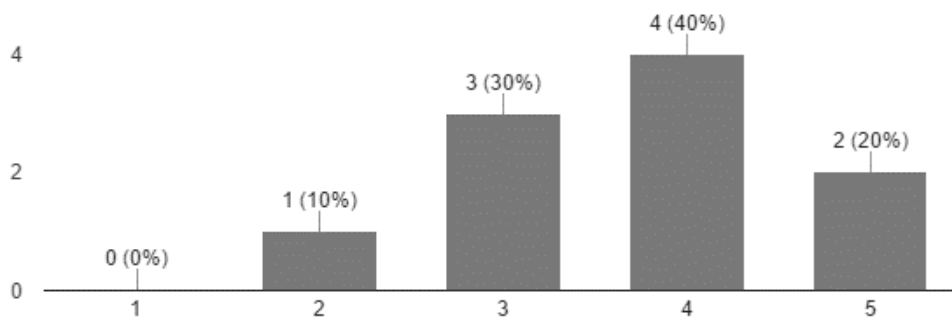


Figura 33 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Frustrado (1) x satisfeito (5)

Autor: Do autor.

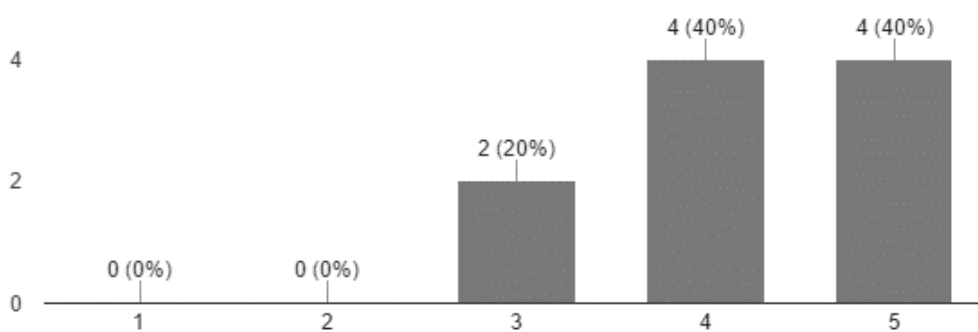


Figura 34 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Entediado (1) x excitado (5)

Autor: Do autor.

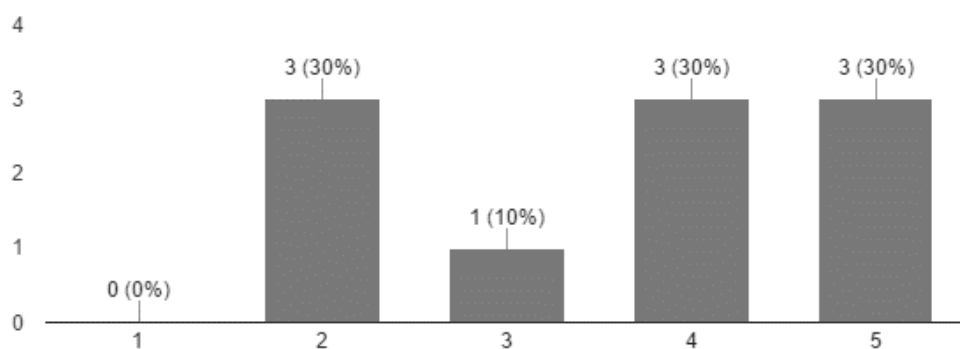


Figura 35 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Estressado (1) x relaxado (5)

Autor: Do autor.

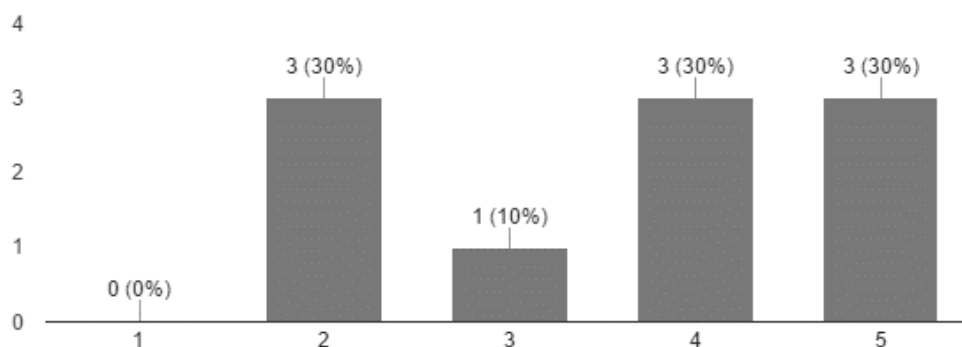


Figura 36 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Nervoso (1) x calmo (5)

Autor: Do autor.

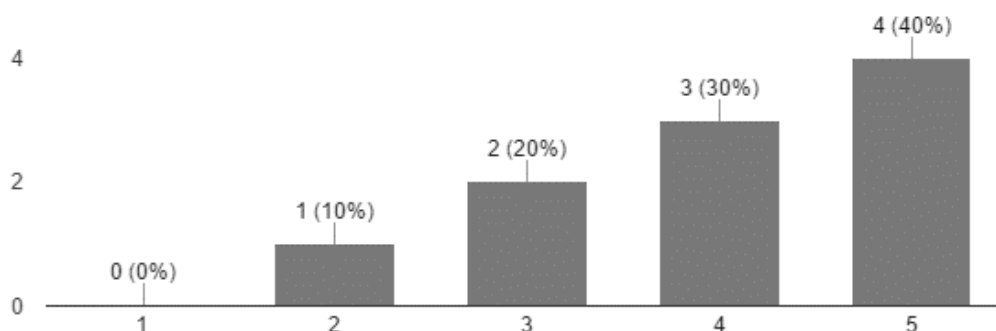


Figura 37 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Irritado (1) x tranquilo (5)

Autor: Do autor.

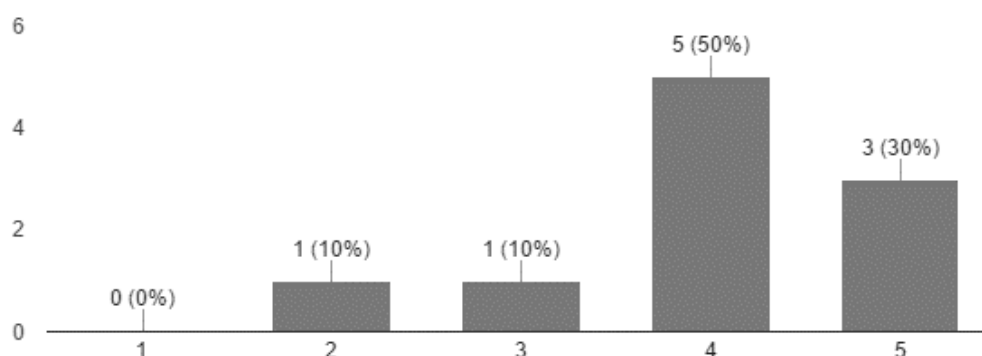


Figura 38 - Questionário Etapa 2 – Questão 3 - Inseguro (1) x seguro (5)

Autor: Do autor.

Alguma dessas sensações variou ao longo da realização dos desafios? Por exemplo, você acha que iniciou tendo uma sensação e ela se alterou na medida em que foi resolvendo os desafios? Você considera que alguma dessas sensações somente surgiu em determinado momento da realização da Etapa 2? Explique,

destacando a(s) sensação(ões) e, se possível, identificando se foi mais no início, durante ou no final da Etapa 2.

Esta era a única questão aberta do primeiro questionário. Um (10%) dos participantes (Participante 6), o mesmo da etapa 1, somente informou que não houve variação das sensações, outro (10%) (Participante 12) somente informou a palavra “Seguro”, não trazendo mais informações e 3 participantes (30%) (Participantes 6, 10 e 11) informou não ter havido alterações. Seguem os depoimentos dos demais participantes.

- *Nesta etapa, me senti mais engajado e atento logo de início, pois já tinha conhecimento do que seria a tarefa e assim já mais ou menos sabia o que viria. A atividade foi bem tranquila e rápida [Participante 3].*
- *Distraído/atento - nessa etapa senti que em alguns momentos estava pouco concentrado nos desafios [Participante 4].*
- *Em certa parte, começou a se tornar exaustivo olhar para o monitor, mais do meio para o final [Participante 7].*
- *Estava satisfeito, mas quando errava alguma resposta o sentimento mudava para frustração, isso aconteceu no meio da etapa [Participante 9].*
- *Acredito que na etapa final eu também fui um pouco melhor, por já estar acostumada com o estímulo [Participante 2].*

No geral, você acha que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os "iguais" ou os "diferentes"?

Conforme já descrito, essa etapa possuiu 56 duplas de telas (conjunto de estímulos), sendo que 8 representavam telas iguais e 48 diferentes. A maioria dos participantes (80%) (Participante 2, 4, 5, 7, 9, 10, 11 e 12) considera que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os diferentes, um participante (10%) (Participante 3) considera que sua taxa foi melhor em identificar os iguais, e outro (10%) (Participante 6) considera não há diferença significativa em identificar iguais ou diferentes. Assim como na etapa 1, os participantes demonstram ter consciência da dificuldade de observar pequenos detalhes nos estímulos, demonstrando a eficiência da tarefa proposta. A Figura 39 ilustra essas respostas.

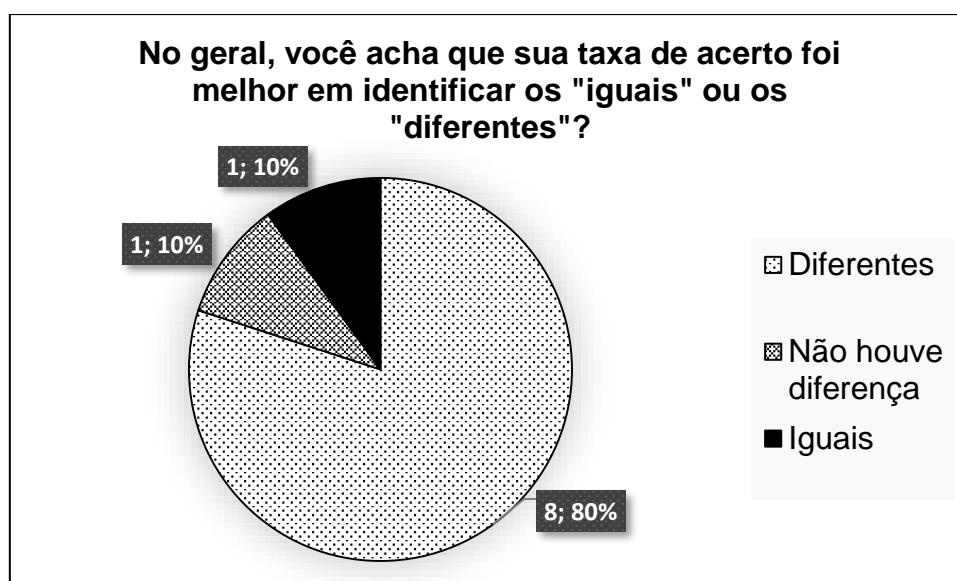


Figura 39 -Questionário Etapa 2 – Questão 5

Autor: Do autor.

Você acha que sua taxa de acerto foi melhor em que fase da Etapa 1?

3 participantes (30%) (Participantes 9, 11 e 12) consideram que sua taxa de acerto foi melhor na fase inicial da etapa, entretanto, tiveram em média 4,6 acertos a mais na metade final da etapa 2. 3 participantes (30%) (Participantes 4, 6 e 10) acreditam que não houve diferença significativa em sua taxa de acerto, apesar disso, os participantes tiveram um aumento no final da etapa de 5, 8 e 1 acertos, respectivamente. Um (10%) (Participante 3) acha que foi melhor entre as fases, o que foi validado, sendo que entre o ensaio 70 e 88 obteve 25 acertos, contra 23 acertos nos demais ensaios da etapa 2. Um participante (10%) (Participante 2) acredita que sua taxa de acerto foi melhor na fase final e outro (10%) (Participante 7) não soube informar. A Figura 40 ilustra essas respostas.

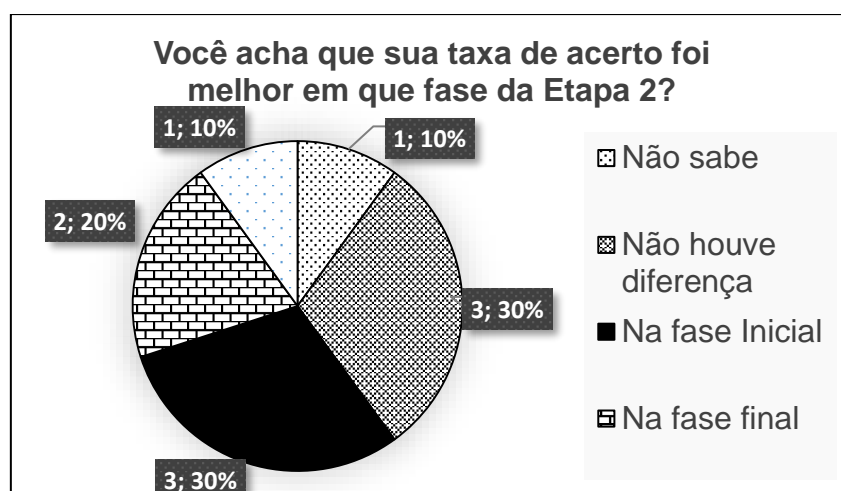


Figura 40 -Questionário Etapa 2 – Questão 5

Autor: Do autor.

5.4. Questionário final

Após a realização da Etapa 2, e do preenchimento do questionário referente àquela etapa, foi aplicado um último questionário. Esse teve por objetivo verificar a percepção dos participantes com relação as etapas 1 e 2. Este questionário conteve 11 questões, sendo 10 de múltipla escolha e uma aberta, que são discutidas a seguir.

Comparando as sensações de incômodo visual sentidas na realização da Etapa 1 e Etapa 2, você considera que:

3 participantes (30%) (Participantes 3, 6 e 12) tiveram os mesmos incômodos em ambas etapas, assim como outros 3 participantes (30%) (Participantes 5, 10 e 11) não sentiram incômodos em nenhuma das etapas. 2 participantes (20%) (Participantes 4 e 7) sentiram mais incômodos na etapa 2 e outros 2 (20%) (Participantes 2 e 9) sentiram mais incômodos na etapa 1. A Figura 41 ilustra essas respostas.

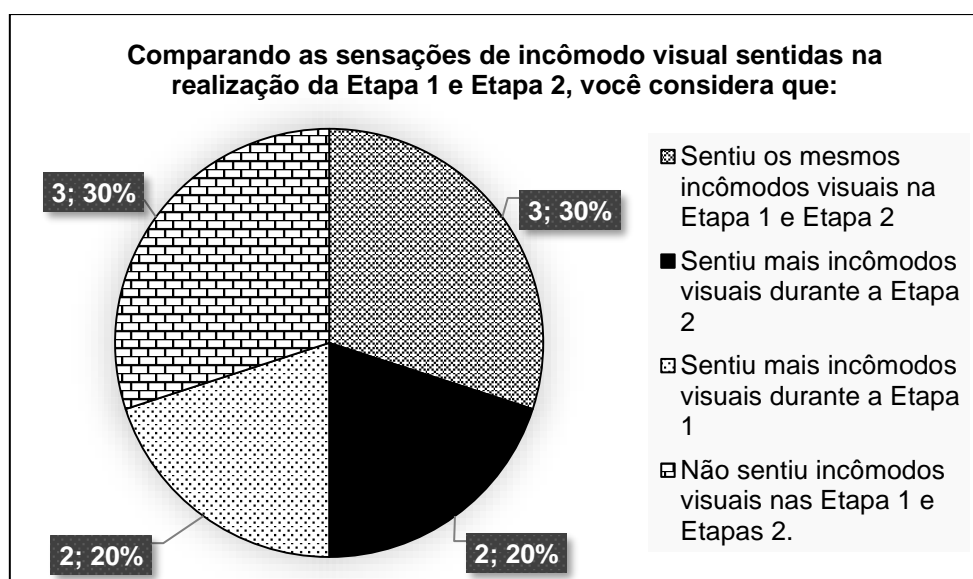


Figura 41 -Questionário final – Questão 1

Autor: Do autor.

Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais acertos em qual etapa?

A maioria (80%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 12) acreditam ter acertado mais na segunda etapa, já os demais (20%) (Participantes 7 e 11) consideram ter mais acertos na etapa 1. A Figura 42 ilustra essas respostas.



Figura 42 -Questionário final – Questão 2

Autor: Do autor.

Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais atenção (observação) na resolução dos desafios de qual etapa?

6 participantes (60%) (Participantes 2, 3, 5, 9, 10 e 12) consideram que estavam mais atentos na etapa 2, enquanto que 3 participantes (30%) (Participantes 4, 7 e 11) acreditam que estavam mais atentos na etapa 1. Um participante (10%) (Participante 6) considera que não houve diferença entre as etapas em sua atenção. A Figura 43 ilustra essas respostas.



Figura 43 - Questionário final – Questão 3

Autor: Do autor.

Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais agilidade (coordenação motora e velocidade na seleção das teclas do teclado) na resolução dos desafios de qual etapa?

Com relação a coordenação motora, 8 participantes (80%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 e 12) consideram que tiveram mais agilidade na etapa 2 e, os demais (20%) (Participantes 6 e 7), acreditam que não houve diferença entre as etapas. A Figura 44 ilustra essas respostas.

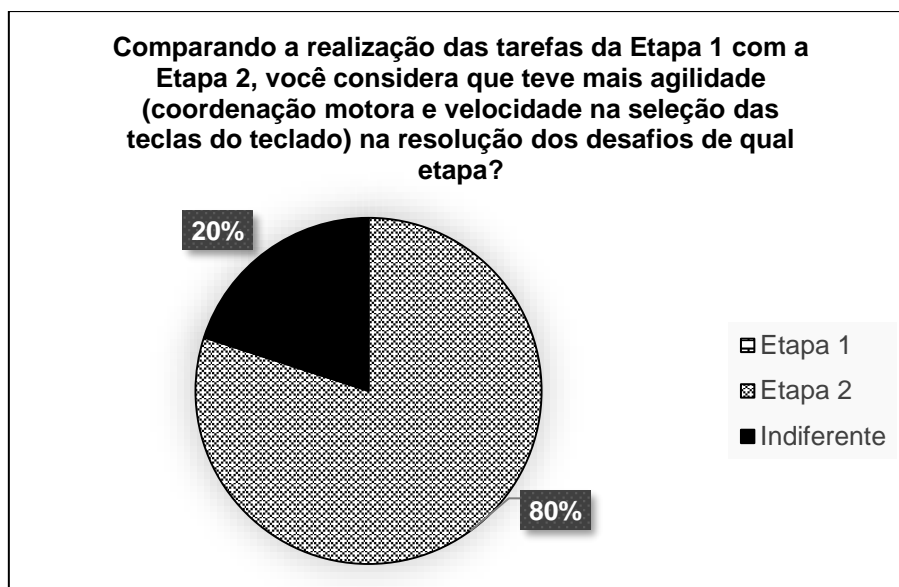


Figura 44 - Questionário final – Questão 4

Autor: Do autor.

Você considera que, quanto mais desafios similares aos que foram apresentados tiver que resolver, melhor será sua atenção para observar as sequências visuais?

8 participantes (80%) (Participantes 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12) consideram que quanto maior a experiência com a tarefa, maior será sua atenção. 1 participante (10%) (Participantes 4) acredita que não haveria melhora na atenção e outro (10%) (Participante 6) acredita ser indiferente. Entretanto, não se pode constatar essa melhora de desempenho durante o experimento. A Figura 45 ilustra essas respostas.

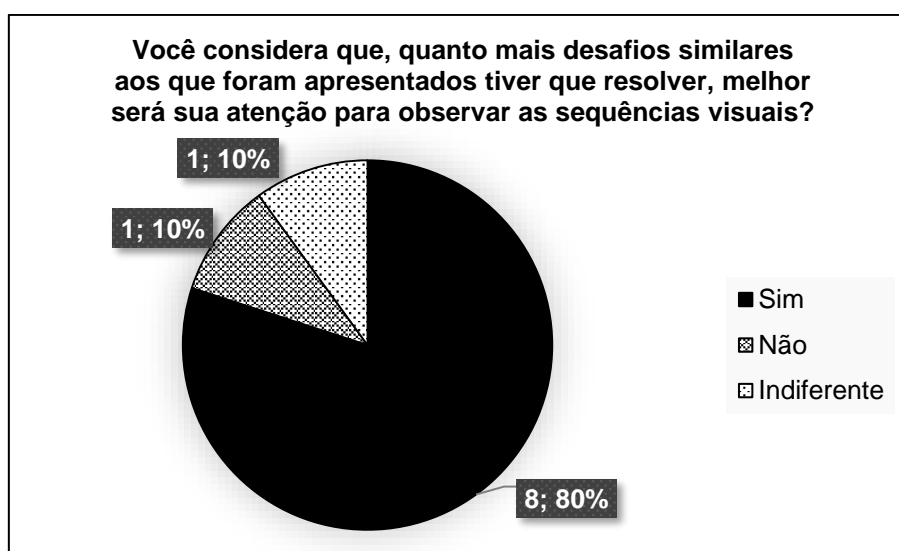


Figura 45 - Questionário final – Questão 5

Autor: Do autor.

Você considera que quanto mais desafios similares aos que foram apresentados tiver que resolver, melhor será sua agilidade em utilizar as teclas do teclado para indicar "iguais" e "diferentes"?

6 participantes (60%) (Participantes 2, 4, 5, 7, 9, e 12) consideram que quanto maior a experiência com a tarefa, maior será sua agilidade com as teclas. 3 participantes (30%) (Participantes 3, 6 e 10) se posicionaram indiferentes a melhora. Por fim, um participante (10%) (Participante 11) considera que não faria diferença. Verificou-se que existe uma pequena melhora quanto a média do tempo de resposta dos participantes entre etapas, sendo 923 ms na etapa 1 e 870 ms na etapa 2. A Figura 46 ilustra essas respostas.

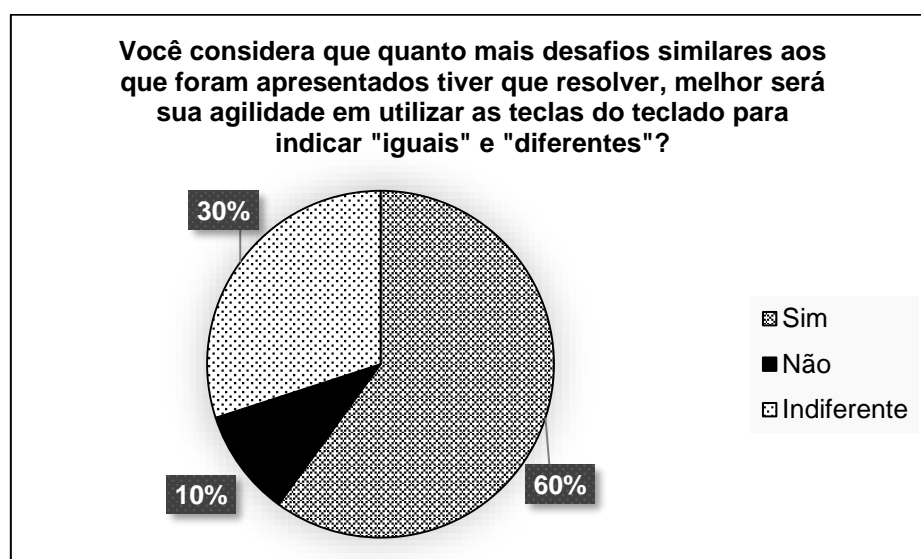


Figura 46 - Questionário final – Questão 6

Autor: Do autor.

Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo que separa um desafio de outro (marcado pela tela +) foi:

8 participantes (80%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 e 12) consideram que tempo é adequado e 2 participantes (20%) (Participantes 10 e 11) indicaram que poderia ser maior. A Figura 47 ilustra essas respostas.

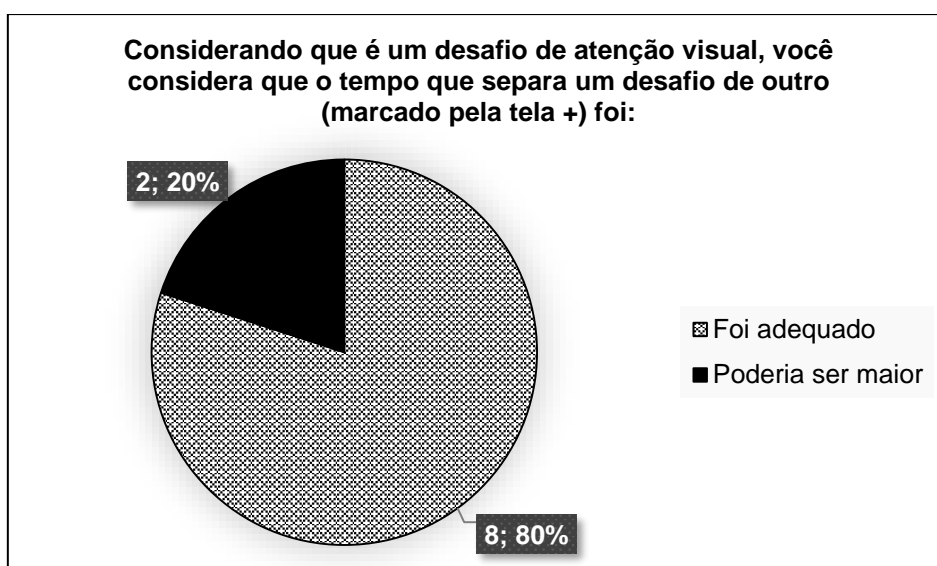


Figura 47 - Questionário final – Questão 7

Autor: Do autor.

Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo para identificar as sequências iguais e diferentes foi:

A maioria dos participantes (70%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 6, 10 e 12) consideram que o tempo poderia ser maior, enquanto 3 participantes (30%) (Participantes 7, 9 e 11) acreditam que o tempo foi adequado. Isso confirma que a percepção do participante vai de encontro ao proposto na tarefa. A Figura 48 ilustra essas respostas.



Figura 48 - Questionário final – Questão 8

Autor: Do autor.

Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo para identificar as sequências iguais e diferentes deveria variar ao longo da Etapa? Por exemplo, começar com uma duração maior e ir reduzindo até estabilizar.

9 participantes (90%) (Participantes 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 e 12) consideram que o tempo poderia ser reduzido conforme a experiência com a tarefa, já 1 participante (10%) (Participante 7) considera que não poderia ser reduzido. A Figura 49 ilustra essas respostas.

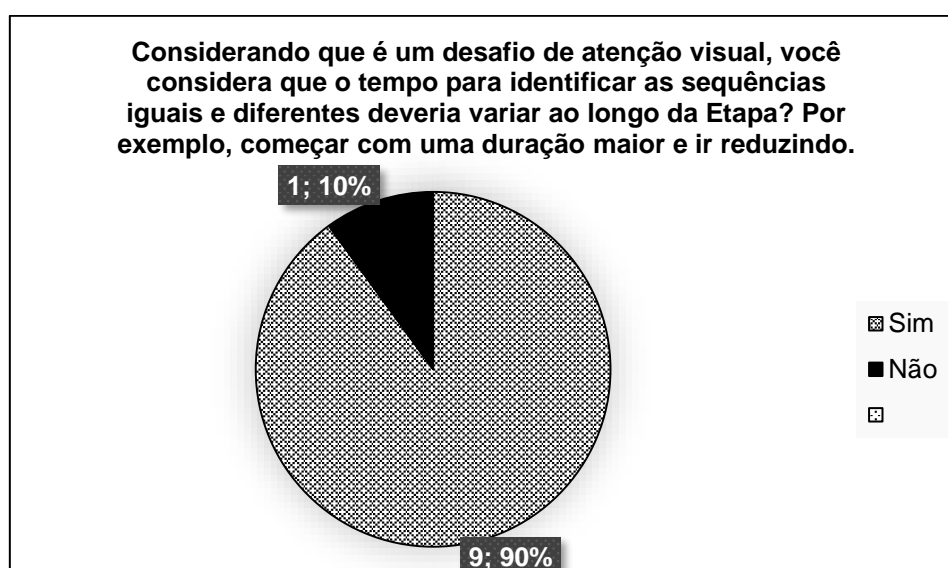


Figura 49 - Questionário final – Questão 9

Autor: Do autor.

Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que as cores de fundo e dos objetos são claramente identificadas?

5 participantes (50%) (Participantes 6, 7, 9, 11 e 12) consideram que cores utilizadas são claramente identificadas. 4 participantes (40%) (Participantes 2, 3, 5 e 10) consideram que as cores não são facilmente identificadas e, por fim, um participante (10%) (Participante 4) considera indiferente. A dificuldade na identificação das cores está ligada ao tempo de exibição proposto, entretanto, a maioria dos participantes conseguiu notar estas diferenças. A Figura 50 ilustra essas respostas.

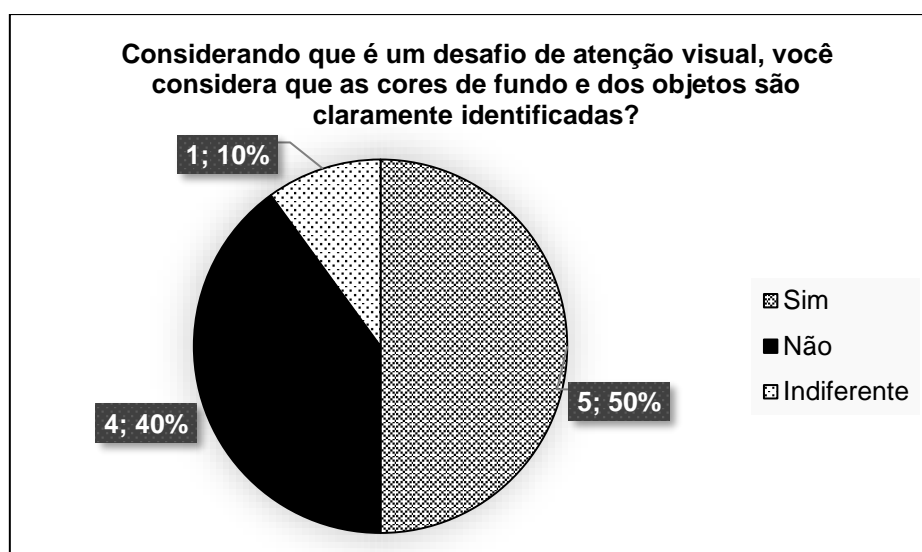


Figura 50 - Questionário final – Questão 10

Autor: Do autor.

Deixe sua opinião geral de participação no experimento, comentários, críticas ou sugestões:

- *Achei bem interessante, apenas a questão da luminosidade, que acho que influenciou diretamente da não diferenciação das cores entres os símbolos, o que passou despercebido [Participante 3].*
- *Gostei de participar do experimento e acho que é um assunto muito interessante, inclusive a forma que o experimento foi realizado, de uma forma fácil e direta [Participante 4].*
- *O experimento é difícil, porém divertido. O único desconforto que senti foi ao usar a mão direita na parte central do teclado, pois não tenho esse costume [Participante 7].*
- *É um desafio bem interessante e difícil e que exige atenção. A parte mais difícil é a identificação da cor cinza e branca [Participante 9]*
- *Creio que as cores ficaram de difícil percepção para serem distinguidas [Participante 10].*
- *Parabéns! [Participante 5].*
- *Eu colocaria os iguais no botão do lado direito da tela porque eu sou destra. Mas pra quem é canhoto, acredito que assim esteja melhor [Participante 2].*
- *Me gusto el experimento, Fué un buen reto; sería bueno poder usar gafas en el experimento [Participante 12].*

5.5. Relação entre medidas e respostas

Nas seções anteriores, buscou-se apresentar a percepção dos participantes ao realizarem o experimento, dados que foram resultantes da coleta de dados por meio de questionário.

Esta seção busca apresentar os dados coletados por meio da ICC e discutir possíveis relações entre as medidas neurais e comportamentais, bem como com as percepções dos participantes. Também inclui discussão sobre taxas de erros e relação com as dificuldades da tarefa proposta.

Quanto aos dados coletados referentes às medidas neurais, cada ensaio, em média, gerou 70 registros de cada uma das 5 medidas extraídas pelo Emotiv EEG, que são engajamento, frustração, meditação, excitação, excitação a longo prazo. Ou seja, em uma sessão do experimento por usuário, foram 112 ensaios (56 ensaios por etapa), 5 características (engajamento, excitação, excitação a longo prazo, meditação, frustração), 70 registros por característica, que resultaram em 39.200 valores registrados. Ainda, foram armazenados os tempos de reação para cada ensaio.

A medida comportamental, por sua vez, armazena o tempo de reação do participante compreendido entre a liberação da tarefa e a resposta. As taxas de erro se referem à quantidade de vezes que o participante responde errado. A dificuldade da tarefa está relacionada ao GS, que é o grau de similaridade entre os conjuntos de estímulos, ou seja, entre os elementos de um ensaio.

Desta maneira, em função do volume de dados gerado, foi realizada a sumarização dos dados das características neurais. A sumarização é uma técnica da área de Estatística Descritiva, que consiste na síntese dos dados coletados e que, apesar da perda de informações, ainda é fator menor em comparação com o ganho proporcionado nas interpretações [HAI05][COR07]. Dentre as medidas de sumarização, podem ser citadas as medidas centrais, como a média e mediana, medidas de dispersão, como desvio padrão e variância, medidas de assimetria, como coeficiente de assimetria, entre outras. Será utilizada a média como método de sumarização, uma vez que se procura entender se o aumento ou diminuição de alguma das características neurais pode influenciar na tomada de decisão. A sumarização dos dados foi realizada utilizando a biblioteca *plyr* na ferramenta *RStudio*.

Por participante, foram gerados gráficos para analisar o comportamento das medidas registradas, no qual o eixo x possui o tempo da coleta e o eixo y contém os valores

amostrados para as medidas. Ainda, as linhas horizontais representam os valores coletados para cada característica neural e as linhas verticais representam o momento em que cada tela da tarefa foi exibida, ou seja, o momento do aparecimento dos estímulos da tarefa. E, para cada ensaio foram definidos 3 períodos, que são o período g, que corresponde a todo período da execução de um ensaio, o *período 1*, que corresponde do início do ensaio até o aparecimento do segundo estímulo, e o *período 2*, que vai do aparecimento do segundo estímulo até a inicialização do próximo ensaio. Um trecho deste gráfico é apresentado na Figura 51, no qual é possível notar que, apesar de ocorrer variações no período de um ensaio, na maioria das vezes, essas variações ocorriam num período de tempo de vários ensaios. Este fato pode indicar que as variações encontradas em um ensaio não indiquem um acerto ou erro.

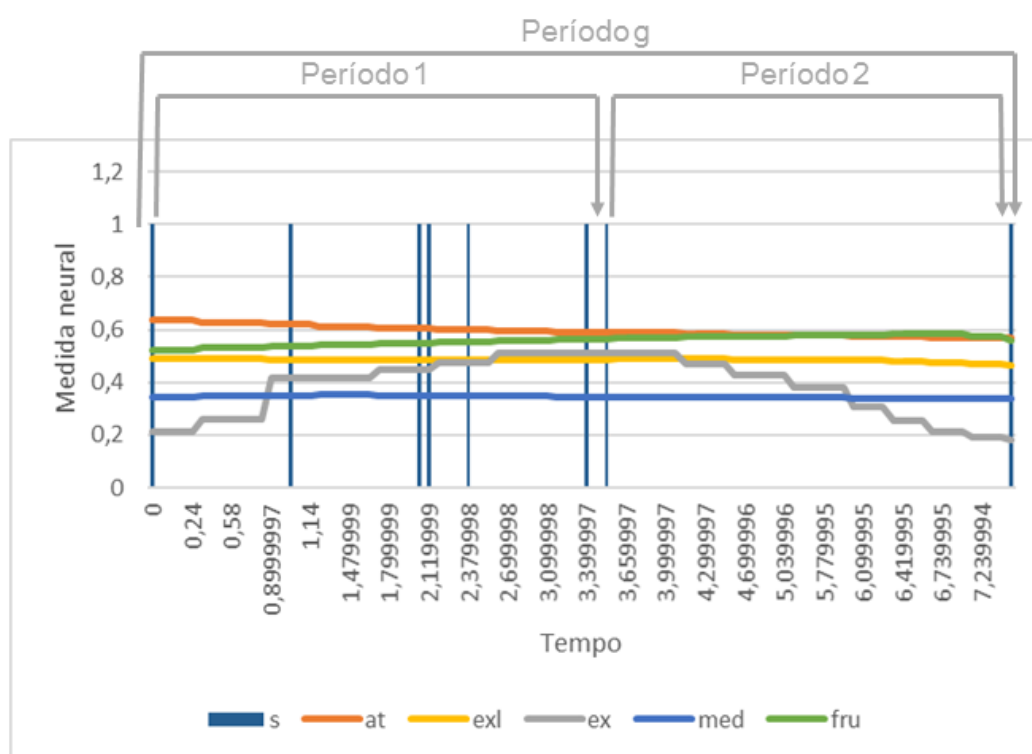


Figura 51 - Gráfico para demonstração dos períodos escolhidos

Autor: Do autor.

Para cada ensaio, para cada um dos períodos, e para cada uma das características neurais, foi realizada a sumarização, a partir da média, dos valores coletados, gerando um total de 12 medidas neurais, e, ainda, uma medida comportamental, o tempo de reação,

totalizando 13 medidas por ensaio. As medidas do início até a apresentação do segundo estímulo, e do segundo estímulo até a inicialização do próximo ensaio foram geradas com intuito de verificar se os níveis variavam durante a apresentação dos estímulos, e após o voto do participante (se o ensaio era igual ou diferente). Por exemplo, acreditava-se que os valores de engajamento e excitação, poderiam ser mais relevantes durante a apresentação dos estímulos, uma vez que o usuário precisa estar mais focado para a visualização e análise dos mesmos. Já o nível de frustração, poderia ser alterado após o voto, indicando um descontentamento do usuário ao acreditar ter votado errado ou sem tanta certeza.

Na Tabela 5 são apresentadas as médias de cada uma das medidas neurais e comportamentais, juntamente com seu desvio padrão, valor mínimo e máximo. Em função de um erro de leitura, os dados de frustração do participante 7 não foram registrados corretamente, apresentando somente valores 1, sem variações. Este erro não foi percebido durante a execução do experimento deste participante. Para o próximo, o equipamento foi desligado e ligado novamente. Para não interferir na análise geral, os dados de frustração deste participante não foram considerados nas análises. Portanto, as demais características estão baseadas nos dados de 10 participantes enquanto a característica de frustração está baseada em 9 participantes. Nesta primeira etapa, não foram realizadas manipulações como normalização e remoção de *outliers*. A normalização não foi realizada, pois os dados entregues pelo *Emotiv* já estão em uma faixa de valor definido, de 0 a 1, além do equipamento realizar uma calibração para cada usuário. Já a não remoção de *outliers*, justifica-se pelo pouco conhecimento sobre os dados, não sendo possível estimar o seu comportamento, o que pode ocasionar a perda de dados importantes.

Tabela 5 - Informações gerais sobre as medidas registradas

Característica	Período	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Engajamento	g	0,5712	0,5750	0,1187	0,0984	1,0000
	1	0,5680	0,5710	0,1228	0,0724	1,0000
	2	0,5737	0,5778	0,1214	0,1195	1,0000
Excitamento	g	0,3360	0,3010	0,1552	0,0214	0,9885
	1	0,3404	0,3072	0,1653	0,0049	0,9877
	2	0,3325	0,2979	0,1627	0,0059	0,9995
Meditação	g	0,3811	0,3659	0,0636	0,2149	0,6667
	1	0,3842	0,3690	0,0676	0,2344	0,6667
	2	0,3787	0,3649	0,0640	0,2014	0,6667
Frustração*	g	0,4599	0,4177	0,1734	0,1203	1,0000
	1	0,4698	0,4200	0,1863	0,1019	1,0000
	2	0,4519	0,4073	0,1744	0,0883	1,0000
Tempo de resposta		0,8967	0,8000	0,4155	0,0800	3,8600

* Dados de 9 usuários

Autor: Do autor.

Verifica-se que, considerando as medidas centrais e o desvio padrão, os períodos analisados não possuem diferenças consideráveis. Neste momento, justifica-se avaliar os níveis médios das etapas, de maneira geral, sem considerar erro e acerto, pois são analisados a relação entre a percepção geral do usuário, juntamente com os dados coletados durante o experimento. Neste trabalho não se buscou realizar a validação da relação das medidas neurais com as respostas subjetivas dos participantes.

Na Tabela 6 é apresentado o resumo das quantidades de erros e acertos por nível de dificuldade de todos os usuários. Um acerto é considerado quando o participante escolhe a opção correta, como, por exemplo, quando são apresentados dois conjuntos de figuras idênticos e ele utiliza a tecla J como resposta, ou um erro, quando são apresentados dois conjuntos de figuras distintos e ele utiliza a tecla J como resposta. São 112 ensaios,

distribuídos igualmente nos 7 níveis de GS, do 0 até o 6. Verifica-se que, quanto maior o Grau de Similaridade (GS), maior a dificuldade do usuário em perceber os detalhes da imagem, e, desta maneira, maior é a taxa de erro. Por outro lado, verifica-se que GS 6 possui mais acertos do que o GS 5. Isso ocorre, uma vez que o usuário, quando não consegue identificar uma característica diferente, com uma maior incidência nos GSs 5 e 6, acabou votando como se fossem iguais. No caso de GS 6, a resposta é considerada correta. Desta maneira, acredita-se que a teoria aplicada de RSVP na tarefa proposta, cumpre com o seu papel, gerando a dificuldade no reconhecimento das imagens mais complexas.

Tabela 6 - Taxa de acerto e erro por nível de dificuldade

Dificuldade	Acertos	Erros	Não votou
0	156	4	0
1	150	10	0
2	153	6	1
3	131	28	1
4	126	34	0
5	89	71	0
6	109	51	0

Autor: Do autor.

Na Tabela 7, são apresentadas as taxas de acerto e erro dos participantes nas etapas 1 e 2. Os dados foram arredondados para uma casa decimal. Pode-se verificar que 2 participantes (2 e 9) tiveram um aumento pouco significativo na taxa de acerto (ambos de 82,1% para 83,9%), sendo de somente uma questão. 3 participantes (7, 11 e 12) tiveram maiores aumentos na taxa de acerto (de 78,6% para 87,5%, de 73,2% para 85,5%, e de 58,9% para 76,8%, respectivamente), sendo de 5, 7 e 10 questões, respectivamente. 3 participantes (3, 4, 10) tiveram aumento pouco significativo na taxa de erro (de 21,4% para 23,2%, de 14,3% para 16,1% e de 16,1% para 17,9%, respectivamente), sendo somente de uma questão, enquanto um participante (5) teve um aumento de 3 questões erradas (de 8,9% para 14,3%). Um participante (6) manteve seu escore nas duas etapas, com 85,7% de acerto.

Tabela 7 - Taxa de acerto por participante entre etapas

Particip.	Etapa 1				Etapa 2				Total			
	Acerto		Erro		Acerto		Erro		Acerto		Erro	
	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%	Qtd.	%
2	46	82,1	10	17,9	47	83,9	9	16,1	93	83,0	19	17,0
3	44	78,6	12	21,4	43	76,8	13	23,2	87	77,7	25	22,3
4	48	85,7	8	14,3	47	83,9	9	16,1	95	84,8	17	15,2
5	51	91,1	5	8,9	48	85,7	8	14,3	99	88,4	13	11,6
6	48	85,7	8	14,3	48	85,7	8	14,3	96	85,7	16	14,3
7	44	78,6	12	21,4	49	87,5	7	12,5	93	83,0	19	17,0
9	46	82,1	10	17,9	47	83,9	9	16,1	93	83,0	19	17,0
10	47	83,9	9	16,1	46	82,1	10	17,9	93	83,0	19	17,0
11	41	73,2	14	25,0	48	85,7	8	14,3	89	79,5	22	19,6
12	33	58,9	22	39,3	43	76,8	13	23,2	76	67,9	35	31,3
Média	46	82,1	10	17,9	47	83,9	9	16,1	93	83,0	19	17,0
Desvio Padrão	5,0	8,9	4,6	8,3	2,1	3,7	2,1	3,7	6,4	5,7	6,1	5,4

Autor: Do autor.

Ainda, as próximas questões abordavam a percepção do usuário durante a execução do experimento. As Tabelas 8 e 9 apresentam um resumo dos dados coletados.

Tabela 8 - Respostas subjetivas

ID	Distraído x atento		Descomprometido x engajado		Frustrado x Satisfeito		Entediado x excitado	
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
2	4	4	5	5	2	2	4	5
3	4	5	5	5	5	4	5	5
4	4	3	5	5	4	5	5	5
5	2	4	3	4	3	3	4	3
6	5	3	3	4	3	4	4	4
7	4	4	5	5	3	4	4	4
9	4	5	4	4	3	3	4	4
10	5	5	5	5	3	4	5	5
11	4	5	5	5	5	5	4	4
12	5	5	4	4	3	3	3	3
Média	4,1	4,3	4,4	4,6	3,4	3,7	4,2	4,2

Autor: Do autor.

Tabela 9 - Respostas subjetivas (continuação)

ID	Estressado x Relaxado		Nervoso x Calmo		Irritado x Tranquilo		Inseguro x Seguro	
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	4	5
5	2	2	2	2	3	3	2	4
6	4	4	3	4	5	4	5	4
7	3	5	5	4	4	4	4	4
9	4	3	4	3	4	3	4	4
10	4	4	4	5	5	5	4	4
11	2	2	2	2	5	5	5	5
12	2	4	5	4	4	4	3	3
Média	3,3	3,6	3,7	3,6	4,2	4	3,8	4

Autor: Do autor.

Com a finalidade de comparar as medidas neurofisiológicas com as respostas subjetivas dos participantes, foi criada uma tabela de mesma escala das medidas neurofisiológicas coletadas. Inicialmente, para cada participante, foi encontrado o valor máximo e mínimo de cada uma das variáveis neurais. Após, foi realizada a subtração do máximo pelo mínimo, e o resultado foi dividido por 5, a fim de obter os valores extremos de cada um dos 5 níveis da escala. Após isso, foi extraída, a partir da *medg*, a média de cada uma das variáveis neurais, para cada uma das etapas. Após, esses valores foram classificados em uma escala de 1 a 5, baseado nos valores obtidos na primeira operação. No caso da medida neural *Frustração*, os valores foram invertidos, sendo o menor valor 5 e o maior 1. Isso foi necessário para adequar a escala usada no questionário, que variava de Frustrado (1) para Satisfeito (5). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Níveis gerais para características neurais por participante e etapas

ID	Engajamento geral		Excitamento geral		Meditação geral		Frustração geral	
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
2	4	3	2	2	1	2	1	2
3	3	2	2	2	3	3	3	1
4	3	2	2	2	3	3	2	3
5	2	3	3	2	1	2	3	2
6	3	2	3	3	2	2	3	3
7	4	2	1	2	2	4		
9	4	2	2	2	2	2	3	2
10	3	2	2	2	2	3	2	2
11	3	3	2	3	3	3	2	2
12	3	1	2	1	4	3	1	1
Média	3,20	2,20	2,10	2,10	2,30	2,70	2,22	2,00

Autor: Do autor.

O Engajamento geral foi comparado com Distráido x Atento e Descomprometido x Engajado, Excitamento geral foi comparado com Entediado x Excitado, Meditação geral foi comparado com Estressado x Relaxado, Nervoso x Calmo e Irritado x Tranquilo, e por fim, Frustração geral com Frustrado x Satisfeito.

De 160 respostas possíveis (8 questões subjetivas em 2 etapas, para os 10 participantes), 4 participantes não tiveram nenhum valor igual entre as respostas subjetivas e as neurais. Somente 15 respostas, de todos os participantes, obtiveram os mesmos valores entre as respostas subjetivas e as variáveis neurais, entretanto, essas não foram repetidas entre as etapas. Como exemplo, o participante 2, para resposta subjetiva de Distráido x Atento da etapa, teve nível 4, igual ao nível de sua característica neural *Engajamento* para a etapa 1. Ao analisar o aumento ou diminuição nos níveis entre etapas, das 22 vezes de 84 possíveis alterações foram notadas, sendo que das 22 vezes, 12 vezes se mantiveram os mesmos valores para a etapa 1 e etapa 2. Como exemplo, o participante 4, para resposta subjetiva de Distráido x Atento, teve uma variação de 1 nível entre a etapa 1 (nível 4) e a etapa 2 (nível 3), já para os níveis da característica neural *Engajamento*, também ocorreu um decremento de 1 nível entre a etapa 1 (nível 3) e etapa 2 (nível 2), ou seja, o mesmo comportamento.

Ao analisar a média dos participantes, pode-se notar um comportamento semelhante entre as respostas subjetivas e as medidas neurofisiológicas em dois casos. Quanto ao

Excitamento geral, obteve-se 2,1 em ambas etapas, sendo que no questionário para “Entediado x Excitado” obteve-se 4,2 em ambas as etapas. Ainda, no caso da Meditação geral com relação a questão “Estressado x Relaxado”, ambas tiveram um aumento entre 0,3 e 0,4 pontos. Entretanto, para ambos os casos, as medidas fisiológicas apresentaram níveis médio-baixo, e as respostas subjetivas níveis médio-alto.

Neste sentido, buscou-se analisar a relação entre a resposta subjetiva para “Inseguro x Seguro” com a taxa de acerto do participante. O participante 5 obteve a melhor taxa de acerto, chegando a 88,4%, entretanto, não foi o participante que se disse mais seguro. Na primeira etapa, sua taxa de acerto foi de 91,1%, e sua resposta subjetiva foi 2, a menor registrada. O mesmo participante também indicou uma melhora na sua segurança, subindo de 2 para 4 na segunda etapa, porém, sua taxa de acerto diminuiu para 85,7%. O participante 4 indicou um aumento de sua segurança de 4 para 5 entre a etapa 1 e etapa 2. Por outro lado, sua taxa de acerto caiu de 85,7 para 83,9, ou seja, um acerto a menos. O usuário 6 indicou uma queda de 5 para 4 pontos em sua segurança entre as etapas, já sua taxa de acerto se manteve em 85,7% nas duas etapas. Os usuários 7, 11 e 12, obtiveram as maiores variações de taxa de acerto entre as duas etapas, entretanto, suas percepções entre as etapas se mantiveram as mesmas. Desta maneira, não foram encontradas evidências que pudessem relacionar, de maneira satisfatória, as respostas subjetivas dos participantes, que foram coletadas via questionários, com as medidas neurais, que foram registradas pela ICC, por meio das fórmulas adotadas.

O próximo passo foi verificação se há relação entre as medidas neurais e comportamentais com as tomadas de decisão efetuadas pelos participantes. Para simplificar a escrita das medidas neurais, a partir deste momento, será adotada a seguinte nomenclatura: cada medida terá seu nome iniciado pelas três primeiras letras de sua característica, seguida do período em que foi coletada. Como exemplo, a medida *medg*, corresponde a meditação coletada durante o período *g*, e *eng2*, corresponde ao engajamento coletado durante o período 2.

No que diz respeito à relação das medidas neurofisiológicas e comportamental e as respostas dadas pelos participantes, buscou-se compreender a diferença entre duas categorias, as respostas corretas e as incorretas, em relação ao aumento ou diminuição das medidas neurais e comportamental. Para isso, inicialmente, utilizou-se os gráficos de caixas, ou *boxplots*, que são utilizados normalmente quando se busca compreender como os valores de variáveis métricas estão distribuídos em categorias, além de possibilitar a

identificação de valores atípicos (*outliers*) [HAI05]. O gráfico é representado por uma caixa dividida horizontalmente por uma linha, que é a mediana. O limite inferior e superior da caixa indicam, respectivamente, os quartis inferior e superior, desta forma, 50% dos valores centrais estão contidos na caixa. Se a linha da mediana encontra-se próximo a uma das extremidades da caixa, isso indica assimetria naquela direção. As linhas que se estendem da caixa, conhecidas como *whiskers*, representam a distância a menor e a maior observação que estão a 1,5 quartis da caixa. Os valores extremos que estão a mais de 1,5 quartis da caixa são representados por pontos. Os gráficos apresentam a distribuição dos valores das medidas encontradas no eixo y e as duas possíveis respostas, sendo 0 quando o participante erra, ou 1 quando o participante acerta, no eixo x. Foram considerados os dados de todos os participantes, salvo a exceção da frustração, no qual, conforme já descrito, não foram utilizados os dados do participante 7. É possível verificar que todas as medidas neurofisiológicas possuem gráficos semelhantes para ambas respostas. Ou seja, os valores encontrados para respostas erradas, possuem a mesma distribuição de valores das respostas corretas, não sendo possível destacar alguma característica para segregação.

Diferentemente, os gráficos para tempo de reação mostram que os valores para respostas corretas estão concentrados em valores menores do que nas respostas erradas. Este comportamento era esperado, conforme já descrito, usuários com maior certeza tomam decisões mais rapidamente. Verifica-se, ainda, uma grande quantidade de *outliers* nas respostas corretas. Estes valores podem indicar, tendo como exemplo o tempo de reação, um usuário que acertou, porém não possuía certeza sobre sua decisão. Isso pode indicar uma diferença dos valores coletados para cada usuário. Os demais *boxplots* podem ser acessados em [CON17]. Como exemplo, as Figuras 52, 53, 54 e 55 apresentam os gráficos para as medidas neurais no período g, e na Figura 56, o gráfico para tempo de reação.

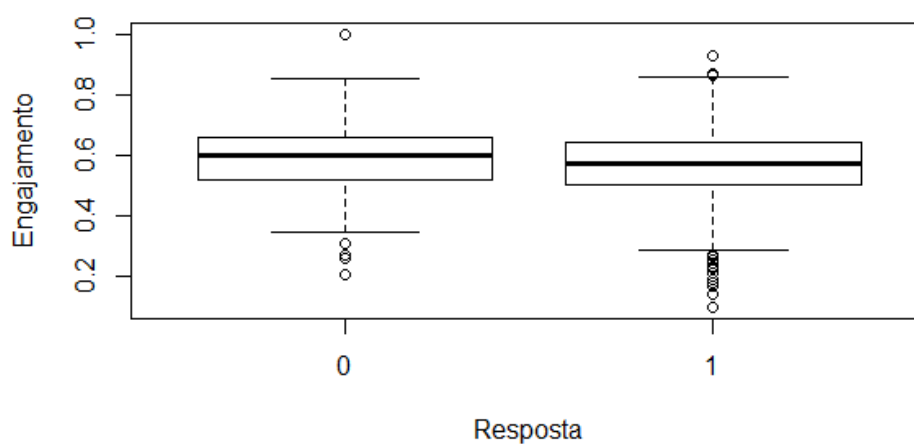


Figura 52 - *Boxplots* para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural *engg*.

Autor: Do autor.

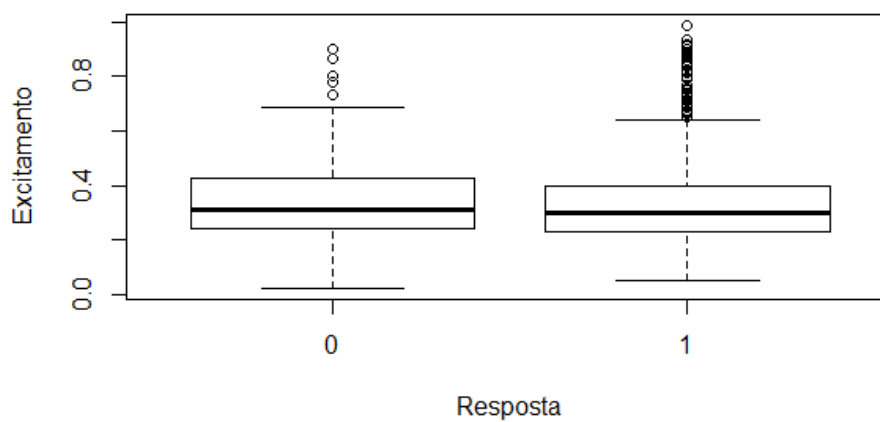


Figura 53 - *Boxplots* para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural *excg*.

Autor: Do autor.

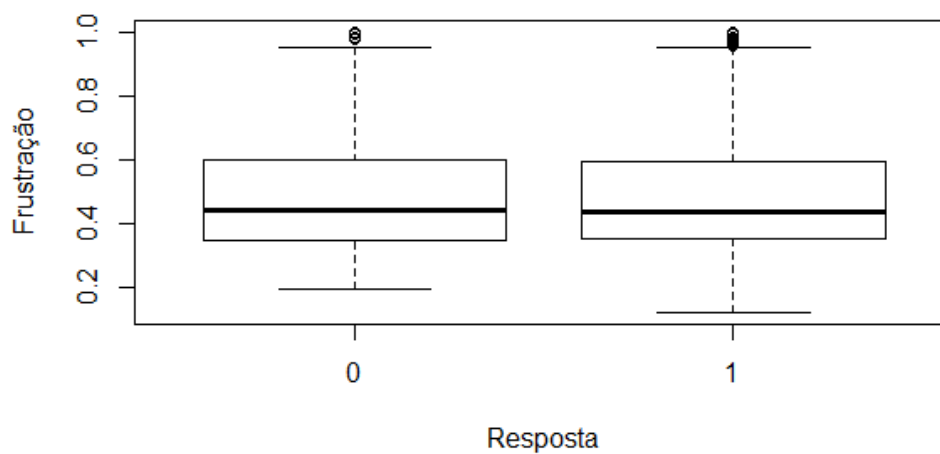


Figura 54 -*Boxplots* para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural *frug*.

Autor: Do autor.

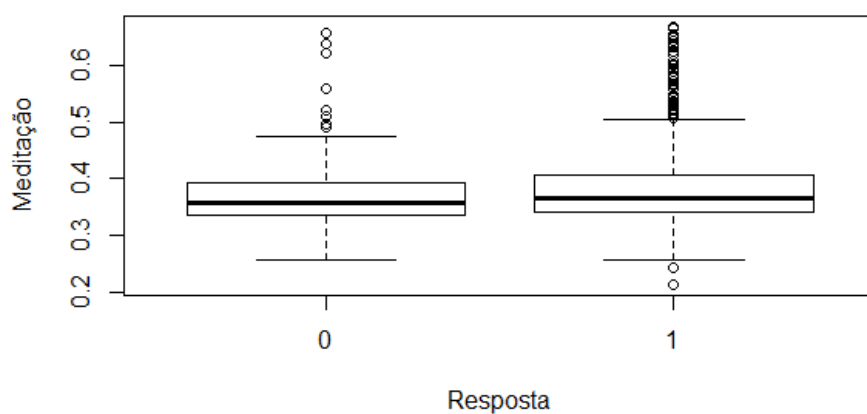


Figura 55 -*Boxplots* para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para a medida neural *medg*.

Autor: Do autor.

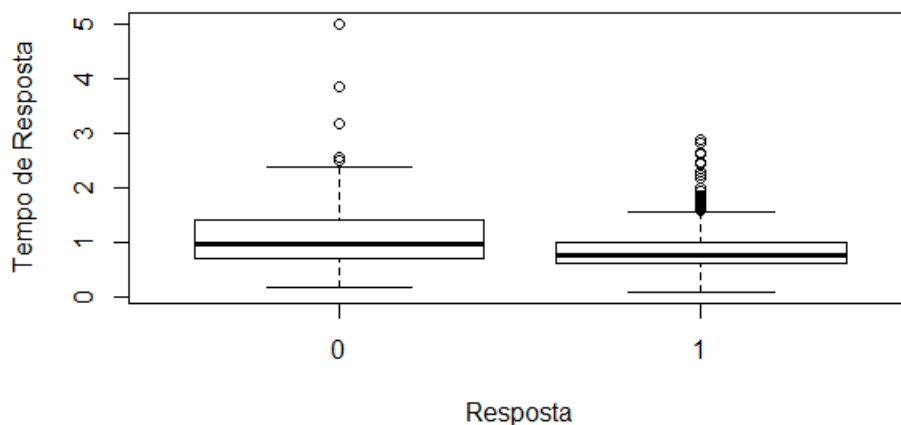


Figura 56 - Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) para todos os participantes para o tempo de reação.

Autor: Do autor.

Em continuidade, para verificar se houve variações nas medidas entre as etapas do experimento, foram analisados os *boxplots* para todos os usuários, de cada uma das medidas neurofisiológicas e comportamentais, considerando separadamente as duas etapas do experimento. Para as medidas neurais, pode-se verificar que, apesar de uma pequena variação entre os gráficos, não se pode constatar alteração do comportamento dos gráficos entre as respostas corretas e erradas. Como exemplo, na Figura 57 é apresentado os gráficos para a primeira etapa do engajamento para o período *g*, na Figura 58 a segunda etapa do engajamento no período *g*. Os demais gráficos podem ser acessados em [CON17]. No que diz respeito ao tempo de reação, verifica-se que na etapa 2, os valores coletados para respostas corretas foram reduzidos. Isso indica que houve uma pequena melhora, podendo ser devido ao aprendizado da tarefa, que reflete não somente na resposta motora do participante, mas também uma melhora no nível de certeza sob as decisões tomadas. Apresenta-se nas Figuras 59 e 60 os gráficos do tempo de reação para as etapas 1 e 2 respectivamente.

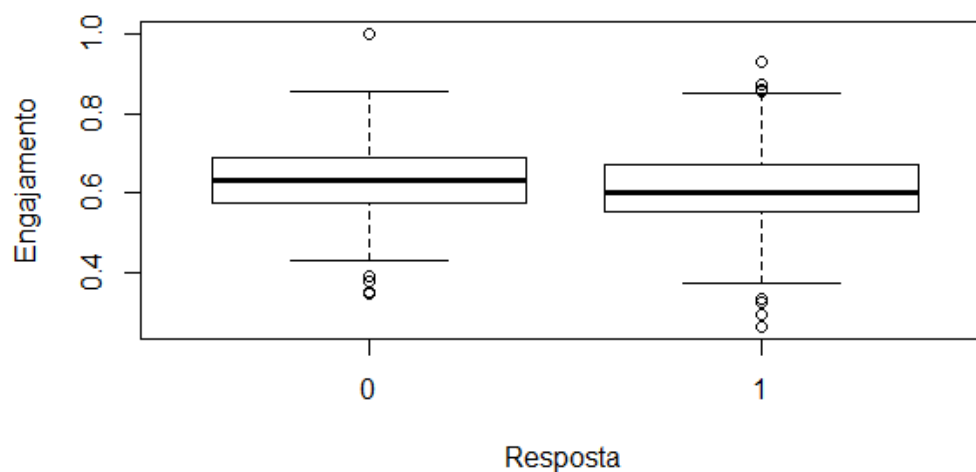


Figura 57 - Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para a medida neural engg na Etapa 1.

Autor: Do autor.

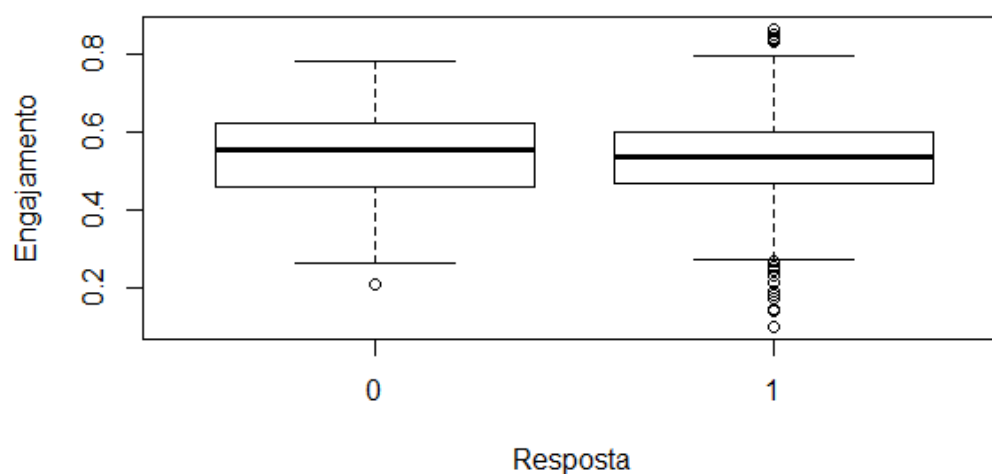


Figura 58 - Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para a medida neural engg na Etapa 2.

Autor: Do autor.

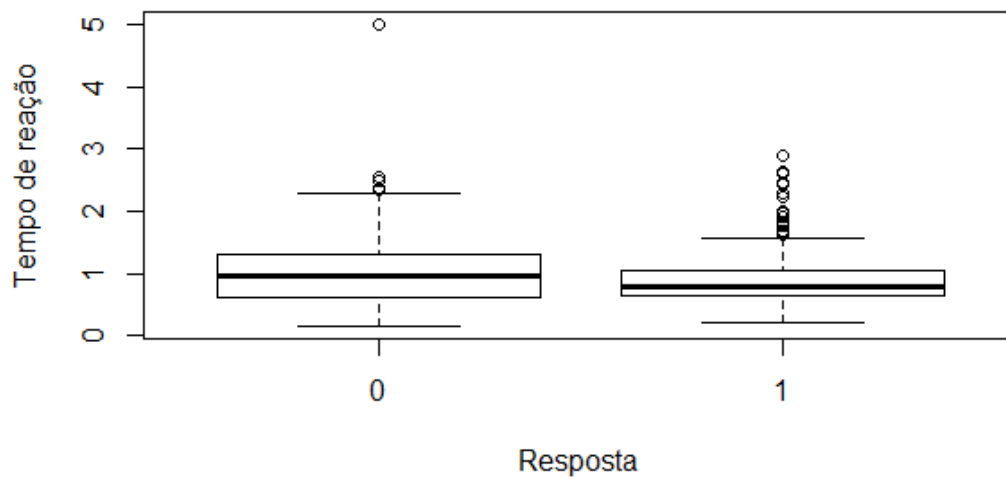


Figura 59 - Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para o tempo de reação na etapa 1.

Autor: Do autor.

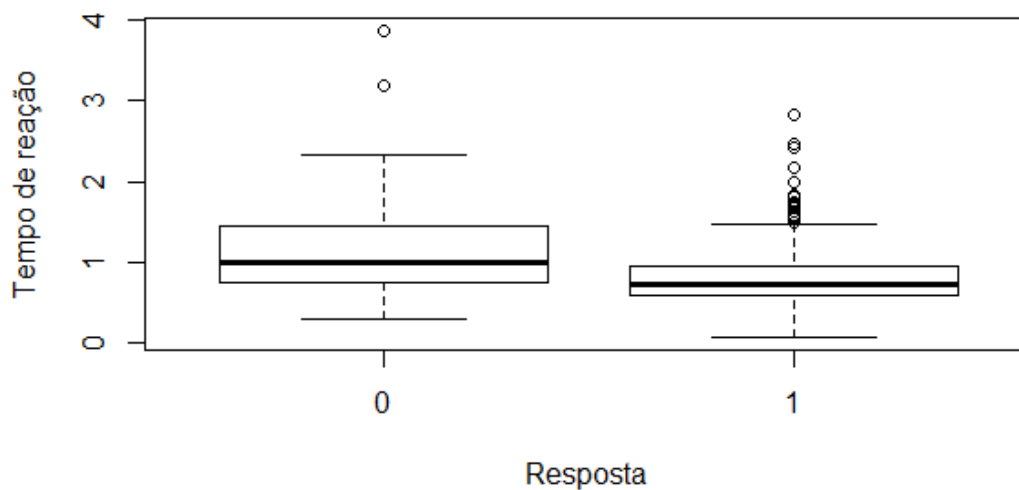


Figura 60 - Boxplots para respostas erradas (0) e corretas (1) de todos os participantes para o tempo de reação na etapa 2.

Autor: Do autor.

Neste sentido, nesta análise descritiva dos dados, não se pode encontrar evidências nas medidas neurais que pudessem estimar a resposta correta ou incorreta dos participantes. Já a medida de tempo de reação vai ao encontro do apresentado, no qual, conforme já salientado, de maneira geral, as respostas corretas são dadas mais rapidamente do que respostas erradas, indicando, assim, um nível de certeza maior. Entretanto, percebe-se que boa parte dos valores ainda compartilham a mesma distribuição. Ainda, percebe-se uma grande quantidade de *outliers* para respostas corretas, em direção aos valores coletados para respostas erradas. Isso pode indicar que os usuários acertam, mesmo em dúvida, por isso o tempo de reação alto.

Na busca de mais repostas, foi explorada a técnica de Análise Multivariada, que se refere a todos métodos estatísticos que, simultaneamente, analisam múltiplas medidas sobre cada indivíduo ou objeto sob investigação [HAI05]. Para esta análise dos dados, buscou-se consultorias junto à Faculdade de Matemática da PUCRS. Foram realizadas reuniões para, inicialmente, apresentar o problema e os trabalhos correlatos, e após a coleta dos dados, foram apresentados os dados coletados e houveram sugestões de algumas abordagens para a análise dos dados. E por fim, foram apresentados os métodos selecionados e utilizados bem como os resultados, sendo validados pelos especialistas.

Desta maneira, foi utilizada a Regressão Múltipla, que é um método de análise apropriado quando o problema envolve uma única variável dependente relacionada com duas ou mais variáveis independentes. Ainda, sempre que se quiser prever a quantia ou magnitude da variável, a regressão múltipla será útil (HAI). Também, caso a hipótese de pesquisa contenha as variáveis dependentes e independentes, deverá ser utilizado uma das técnicas de dependência, como, por exemplo, a Regressão Logística. A Regressão Logística é uma técnica de Análise Multivariada que permite estimar a probabilidade associada a ocorrência de determinado evento em face a um conjunto de variáveis explanatórias. É recomendada para situações em que a variável dependente é de natureza dicotômica ou binária. Neste sentido, a regressão logística, não apenas realiza a classificação da variável dependente em categorias, mas, também, permite a interpretações em termos de probabilidade [COR07].

Assim, neste trabalho, considera-se a variável dependente, a resposta dada pelo participante, sendo ela correta ou errada (dicotômica). As variáveis independentes são as cinco medidas neurais e a medida comportamental, que, como são mais de duas, é necessário a aplicação de uma Análise Multivariada. Como as hipóteses deste trabalho

estão ligadas ao fato de que a variação (acréscimo ou decréscimos) de uma ou mais das variáveis independentes tenham relação com uma maior probabilidade de o participante tomar uma decisão correta ou errada, o modelo de Regressão Logística se aplica de maneira adequada.

Ainda, o modelo logístico possui uma série de medidas de avaliação, dentre eles pode-se citar o *Likelihood value*, o *Coeficiente de determinação R^2* , o *Teste de Hosmer e Lemeshow*, e o *Teste Wald*. Quanto ao R^2 , seu objetivo é identificar a proporção da variação total ocorrida na variável dependente em função das independentes. No que diz respeito à sua interpretação, o coeficiente pode variar de 0 a 1, assumindo que quanto maior o valor, maior o poder de explicação da equação de regressão, e, desta maneira, melhor a previsão da variável dependente [HAI05][COR07]. Ainda, pode-se assumir que o valor de R^2 , ao ser multiplicado por 100, representa a porcentagem do poder explicativo. Ou seja, para um R^2 com valor 0,5, seria equivalente a dizer que o modelo de regressão explica 50% das observações. Desta maneira, neste trabalho, pode-se assumir que o coeficiente de determinação encontrado em um modelo de regressão, indica quanto uma ou mais medidas, neurofisiológicas ou comportamental, podem estimar se a resposta dada pelo participante será correta ou errada. Um R^2 é considerado alto quando está acima de 70%, baixo quando está abaixo de 40%, e médio quando está entre 70% e 40%.

Outra medida que precisa ser considerada em uma análise estatística é o *valor-p* de um teste de hipótese. O *valor-p* é definido com a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado, ou seja, dos valores observados, quantos % destes são frutos de observações ocorridas por acaso. Como exemplo, um teste com *valor-p* de 0,1, indica que 10% das observações possuem valores tão extremos que são advindos do acaso, e não de um fenômeno específico. O valor tradicional de corte para o *valor-p* é de $p < 0,05$. Ou seja, uma amostra é estatisticamente significativa, se somente em menos de 5% das observações, ela apresentar valores extremos [FER15]

É importante salientar que estas duas medidas (*valor-p* e R^2) foram utilizadas para demonstrar o quão confiável pode ser o modelo proposto neste estudo. O propósito foi encontrar coeficientes de determinação com poder de explicação alto, e, ainda, dados estatisticamente significantes. Em uma ICCc, após encontrado essas evidências, poderá, assim, ser proposto um método de junção.

Em um primeiro momento, foi verificada a existência de multicolinearidade das variáveis independentes, ou seja, das medidas neurofisiológicas e comportamentais. A

multicolinearidade é a correlação entre duas ou mais variáveis independentes, variando de 1 para colinearidade completa e 0 para falta de colinearidade [HAI05][COR07]. Em uma regressão, a incidência de multicolinearidade pode reduzir o poder preditivo do modelo. Conforme [HAI05], o pesquisador deve procurar variáveis independentes que tenham baixa multicolinearidade. Para essa verificação, utilizou-se a técnica de *Correlação de Pearson*. Para simplificar a análise, foi gerada uma matriz de correlação, apresentada na Tabela 11. As correlações podem ser interpretadas como forte, para valores maiores que 0,7, média, para valores acima de 4 e abaixo de 7, e baixa, para valores abaixo de 4.

Tabela 11 - Matriz de correlação de Person para verificação de multicolinearidade

	engg	excg	medg	frug	eng1	exc1	med1	fru1	eng2	exc2	med2	fru2	rt
engg	1												
excg		1											
medg	.		1										
frug				1									
eng1	B		.		1								
exc1		*				1							
med1	.		B		.		1						
fru1				B				1					
eng2	B		.		+		.		1				
exc2		B				,				1			
med2	.		B		.		+		.		1		
fru2				B				*				1	
rt													1

Autor: Do autor.

• **Legenda:**

	Valores maiores que zero até 0.3
.	Valores maiores que 0.3 até 0.6
,	Valores maiores que 0.6 até 0.8
+	Valores maiores que 0.8 até 0.9
-	Valores maiores que 0.9 até 0.95
B	Valores maiores que 0.95
1	Correlação perfeita (Sempre ocorre em uma matriz quando se trata da mesma)
	Células repetidas

Inicialmente, verifica-se que nenhuma medida neural possui correlação forte com o tempo de reação. Diferentemente, todas medidas neurais de mesma característica possuem forte correlação entre os períodos g, 1 e 2. Desta maneira, caso um modelo apresente valores satisfatórios, deve-se verificar se o mesmo possui variáveis com forte

correlação, e, após, realizar regressões removendo e incluindo essas variáveis, de maneira a selecionar aquela com maior poder de explicação.

Para garantir a inclusão das medidas neurais corretamente, foi utilizado o método *Stepwise*, também conhecido como passo a passo, que é um método de seleção de variáveis para inclusão no modelo de regressão. Inicialmente, é selecionada a melhor variável independente preditora para a variável dependente. Após, variáveis independentes são adicionadas em termos de poder explicativo incremental. Ainda, variáveis independentes podem ser removidas, caso seu poder preditivo diminua a um nível não significativo. Para o método *Stepwise*, o tamanho da amostra pode afetar a generalização dos resultados, e, de maneira geral, é recomendada a proporção de 50 observações para cada variável independente. Neste trabalho, existem 1120 amostras, e, desta maneira, podem ser utilizadas até 22 variáveis independentes. Ainda, verifica-se a correlação média entre as medidas de engajamento e meditação. Os coeficientes são negativos, ou seja, quando uma medida aumenta, a outra diminui.

Após a verificação de multicolinearidade, executou-se diversas regressões logísticas utilizando a técnica *Stepwise*. Para isso, utilizou-se dois métodos de regressão disponíveis para *RStudio*, o *Fitting Generalized Linear Models (glm)* e o *Logistic Regression Model (lrm)*. De modo geral, o método *glm* permite a execução da regressão *stepwise*, selecionando as melhores variáveis. Após selecionadas as variáveis, utilizou-se o método *lrm* para validação dos resultados de *glm*, e além disso, foram apresentados os resultados para R^2 , não presente diretamente no método *glm*, e necessitaria ser calculado separadamente. Os resultados de todas regressões são apresentados no [CON17].

A primeira execução levou em consideração todos os usuários, menos o usuário 7, que não possui valores para frustração, todas as medidas neurais em todos períodos, resultando em 1008 observações. Neste caso, as variáveis selecionadas foram *medg*, *med2*, *frug*, *fru1*, *fru2*, *eng1*. Apesar disso, somente a variável *medg* obteve valor fortemente significativo ($p < 0,05$). Ainda, o poder de explicação do modelo é baixo ($R^2 = 2,9\%$).

A segunda execução levou em consideração todos os usuários, desconsiderando a variável frustração em todos seus períodos, resultando em 1120 observações. Neste caso, as variáveis selecionadas foram *medg*, *med1*, *excg*, *exc1*, *exc2*, *eng1*. Destas, somente *medg* e *med1* obtiveram valores fortemente significantes ($p < 0,05$). O poder de explicação para esse modelo é baixo ($R^2 = 2,2\%$).

Seguindo a análise inicial, executou-se uma regressão para cada etapa do experimento, levando em consideração o caso do participante 7. Para a etapa 1, sem o participante 7, as variáveis *engg*, *excg*, *frug*, *exc1*, *fru1*, *exc2*, *fru2* foram selecionadas, todas com valores significativos ($p < 0,05$), entretanto, com baixo poder de explicação ($R^2 = 4,9\%$). Já na segunda etapa, ainda sem o participante 7, as variáveis *engg*, *excg*, *medg*, *eng1*, *med1*, *eng2* foram selecionadas, mas apenas *medg* e *med1* com valores significantes ($p < 0,05$). O modelo possui poder de explicação baixo ($R^2 = 5,6\%$).

Para a próxima abordagem, foram excluídas as medidas referentes a frustração e incluído o participante 7. Para a etapa 1 as variáveis *engg*, *excg*, *exc1* e *exc2* foram selecionadas, sendo que todas apresentaram valores significativos ($p < 0,05$). Entretanto, o modelo possui baixo poder de explicação ($R^2 = 3,1\%$). Para a etapa 2 as variáveis *engg*, *eng1*, *eng2*, *exc2*, *medg* e *med1* foram selecionadas, mas apenas *medg* e *med1* apresentaram valores significativos ($p < 0,05$). O poder de explicação do modelo é baixo ($R^2 = 4,1\%$).

Como até o momento, não foram encontrados coeficientes com forte poder de explicação, novas abordagens serão verificadas. Na próxima modelagem, buscou-se realizar a normalização dos dados. Foi criada uma função para R (Figura 61), que foi aplicada individualmente nas amostras de cada participante. Para cada uma das medidas neurais, converteu-se os valores em uma escala de 0 a 1, no qual o valor mínimo 0 refere-se ao menor valor coletado, e 1 ao maior valor coletado. A normalização dos dados possibilita, em um modelo geral, respeitar possíveis individualidades nos dados de cada participante. Como notou-se pouca diferença nas regressões anteriores, avaliando cada etapa separadamente, foi considerado as duas etapas juntas. Desta maneira, foram executadas duas regressões, a primeira sem o participante 7 e com todas medidas neurais, e, uma segunda, com o participante 7, e sem as medidas referentes a frustração. Na primeira execução, as variáveis selecionadas foram *eng1*, *excg*, *exc1*, sendo que somente *eng1* possui valores significativos ($p < 0,05$). O modelo permanece com baixo poder explicativo, sendo menor do que o modelo com os dados não normalizados. Na segunda execução, tanto as variáveis escolhidas, como o poder explicativo do modelo, foram os mesmos.

```

normalize <- function(x, na.rm = TRUE) {
  x <- as.matrix(x)
  minAttr=apply(x, 2, min, na.rm = TRUE)
  maxAttr=apply(x, 2, max, na.rm = TRUE)
  x <- sweep(x, 2, minAttr, FUN="-")
  x=sweep(x, 2, maxAttr-minAttr, "/")
  attr(x, 'normalized:min') = minAttr
  attr(x, 'normalized:max') = maxAttr
  return (x)
}

```

Figura 61 - *Script* para normalização em R

Autor: Do autor.

Assim, uma nova abordagem foi adotada. Foram removidos os *outliers* de cada um dos participantes. Estatísticos possuem opiniões distintas sobre a eliminação ou não de *outliers*, contudo, sob o ponto de vista ético, sugere-se que devam ser mantidos, a menos que se tenham provas concretas e demonstráveis que estão verdadeiramente fora do normal. Ao remover os *outliers*, corre-se o risco de melhorar a análise multivariada, mas limita a sua generalidade. Desta forma, sugere-se que se executem duas análises, com e sem valores atípicos [COR07].

Foram considerados como valores *outliers*, aqueles que estão a uma distância maior que 1,5 quartis da mediana. Para isso, foi escrita uma função para R (Figura 62) para a remoção dos valores. Após a remoção, restaram 876 observações. Esta diminuição deve-se ao fato de toda a observação ser desconsiderada, se uma das variáveis tiver um valor nulo, ou seja, que foi removido. Para a regressão, desconsiderando o participante 7, incluindo todas medidas neurais dos demais participantes, as variáveis selecionadas foram *eng1*, *medg*, *med1*, *frug*, *fru1*, *fru2*, sendo que as três medidas para frustração possuem valores significantes ($p < 0,05$). Quanto ao poder explicativo, permaneceu baixo, igual a execução com *outliers* ($R^2 = 2,8\%$). Na execução com todos participantes, excluindo as medidas para frustração, somente a variável *eng1* foi selecionada, sendo que a mesma não possui valores significantes ($p = 0,12$) e seu poder de explicação é baixo ($R^2 = 0,5\%$).

```

remove_outliers <- function(x, na.rm = TRUE, ...) {
  qnt <- quantile(x, probs=c(.25, .75), na.rm = TRUE, ...)
  H <- 1.5 * IQR(x, na.rm = TRUE)
  y <- x
  y[x < (qnt[1] - H)] <- NA
  y[x > (qnt[2] + H)] <- NA
  y
}

```

Figura 62 - Script para remoção de *outliers* em R

Autor: Do autor.

Uma vez que não foram encontrados resultados satisfatórios na busca de um modelo geral para todos participantes, buscou-se avaliar, individualmente, a existência de relação entre as medidas neurais e a tomada de decisão de cada participante. Na Tabela 12 são apresentadas as variáveis escolhidas no método *Stepwise*, sendo que as marcadas com * possuem valores estatisticamente significantes, e a medida de qualidade R^2 para o modelo.

Tabela 12 - Variáveis selecionadas e poder de explicação para modelos por participante.

Participante	Variáveis selecionadas	R^2
2		
3	<i>eng1, excg*, exc2</i>	14,9
4	<i>excg*, exc1*, exc2*, medg*, med2*, frug*, fru1*</i>	53,3
5	<i>engg, eng1, eng2, medg, med1, frug, fru1, fru2</i>	13,8
6	<i>engg*, eng1*, medg*, med1*, frug, fru1, fru2</i>	20,5
7**	<i>engg, excg, exc1, exc2</i>	10,9
9	<i>excg, exc1, exc2*, frug, fru1, fru2</i>	20,2
10		
11	<i>frug*, fru1</i>	7,5
12	<i>eng1, medg, med1</i>	6,9

*Valores significantes ($p < 0,05$)

**Não incluídas as medidas de frustração

Autor: Do autor.

Tanto para o participante 2 quanto para o participante 10, os métodos de regressão não puderam estipular um modelo. Verifica-se que para nenhum dos participantes foi possível encontrar um modelo com poder explicativo alto. Somente o participante 4 obteve valores considerados médios, todos os outros possuem poder explicativo baixo. Vale ressaltar que, em diversos casos, variáveis com multicolinearidade foram selecionadas juntamente, o que pode elevar o valor de R^2 incorretamente. Como os valores encontrados para o poder de explicação não são satisfatórios, não foram realizados testes com novas interações, removendo e incluindo estas variáveis individualmente. Ainda, vale ressaltar que as variáveis selecionadas para cada participante são distintas, o que sugere a não existência de um modelo geral.

Além das medidas neurais, foram geradas regressões para o tempo de reação. Na primeira abordagem, com todos os participantes e os dados sem tratamento, a variável apresentou valores significantes ($p < 0,0001$), e poder de explicação baixo ($R^2 = 7,5\%$). Após a normalização dos dados, o valor p manteve-se o mesmo, porém o poder de explicação R^2 diminuiu para 6,2%. Após a tentativa com normalização, nos dados originais, foi executada a remoção de *outliers* para uma nova abordagem. Após a remoção, restaram 1057 observações. O valor para p permaneceu o mesmo e o poder de explicação caiu para 3,1%. Ainda, foi gerada uma regressão para cada participante, a Tabela 13, resume os resultados encontrados.

Tabela 13 - Valor- p e R^2 para modelo com tempo de reação por participante.

Participante	Valor- p	R^2
2	0,002	15,9
3	0,0006	16,7
4	<0,0001	30,5
5	0,1853	2,8
6	0,0002	25,4
7	0,0012	18,2
9	0,0849	4,2
10	0,0018	15,8
11	0,0967	6,8
12	0,7855	0,1

Autor: Do autor.

Percebe-se, ao comparar os resultados de cada participante, entre as regressões com medidas neurais e com medidas comportamentais, que em ambos os casos, o usuário 4 possui os melhores resultados, chegando em $R^2 = 53,3\%$ para as medidas neurais e R^2

= 30,5% para o tempo de reação, porém, assim como os demais participantes, valores considerados baixos. Em outra comparação, não foi possível demonstrar nas regressões para o tempo de reação o comportamento verificado na análise de *boxplots*, onde foi constatado que participantes com tempo de resposta menor tendem a responder corretamente.

Desta maneira, limitado ao experimento que foi realizado, ao tamanho da amostra (10 participantes) e às abordagens propostas e executadas, não foi identificado um coeficiente de determinação com alto poder de explicação de uma resposta correta ou errada, tanto para as medidas neurais, como também, para as medidas comportamentais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo sobre Interface Cérebro-Computador Colaborativa e Híbrida, no que diz respeito ao estudo da relação de medidas neurais e comportamentais e as tomadas de decisão corretas ou erradas. Para isso, realizou uma revisão da literatura, desde a neuroanatomia e neurofisiologia, até uma revisão sistemática sobre ICCc. Ainda, apresentou uma tarefa de tomada de decisão baseada em RSVP, juntamente com um ambiente de coleta dados. Por fim, realizou a análise dos dados coletados utilizando técnicas da estatística.

Quanto aos objetivos, considera-se que os mesmos tenham sido alcançados, conforme segue:

Objetivos específicos:

Desenvolver uma tarefa de tomada de decisão computadorizada: no capítulo 4 é apresentada a tarefa desenvolvida juntamente com os requisitos para seu desenvolvimento. Ainda, nos resultados são apresentadas evidências que comprovam, por exemplo, que o nível de dificuldade proposto teve efeito sobre as decisões dos participantes.

Desenvolver um ambiente para coleta de medidas neurais e comportamental: no capítulo 4 são descritas as ferramentas utilizadas e quais medidas são registradas, sendo possível, a sincronização com os estímulos da tarefa, o que possibilitou a geração de novas medidas para as regressões.

Avaliar a relação entre medidas neurais e comportamental com as respostas subjetivas sobre percepção na execução da tarefa: é descrito no capítulo 5, no qual, nas análises utilizadas, não foi encontrada relação entre as medidas neurais e comportamentais e as respostas subjetivas dos participantes.

Identificar se existe relação entre as medidas neurais e comportamental com a tomada de decisão correta ou incorreta: onde é apresentada a metodologia utilizada para analisar e verificar a relação, utilizando técnicas da estatística para tal.

Objetivo Geral:

Verificar se medidas neurais e comportamentais possuem relação com as tomadas de decisão corretas e erradas: as evidências encontradas nesta pesquisa apontam para relações fracas, com baixo poder explicativo.

No que se refere às hipóteses deste estudo, tem-se que, a partir da análise descritiva e multivariada, nenhuma evidência, para medidas neurais, foi encontrada, que demonstrasse que o aumento ou diminuição das mesmas influenciasse na tomada de decisão do participante. Quanto à medida comportamental relacionada ao tempo de reação, apesar das regressões não apresentarem bons resultados, a análise de gráficos *boxplots* demonstrou que existe uma tendência de que respostas dadas mais rapidamente são corretas.

6.1. Alterações

Durante o período da pesquisa, algumas adequações quanto ao escopo e objetivos foram necessárias porque eram dependentes da existência de relações entre as medidas neurais e comportamentais com as tomadas de decisão. Como já descrito, esta relação não foi encontrada. Desta maneira, foi formulada uma nova pergunta de pesquisa e os novos objetivos foram propostos, enquanto a pesquisa estava em andamento. A Tabela 14 ilustra as alterações realizadas.

Tabela 14 - Adequação de objetivos do trabalho

Proposta original	Proposta consolidada
Pergunta de pesquisa: É possível melhorar a taxa de acerto de tomadas de decisão utilizando uma interface cérebro-computador colaborativa e híbrida em relação às tomadas de decisão não baseadas em Interface Cérebro-Computador?	Pergunta de pesquisa: Quais as relações entre medidas neurais e comportamentais com as tomadas de decisão, sejam elas corretas ou erradas
Objetivo geral: Analisar o impacto da utilização de uma interface cérebro-computador colaborativa e híbrida no processo de tomada de decisão	Objetivo geral: Verificar se medidas neurais e comportamentais possuem relação com as tomadas de decisão corretas e erradas, afim de poder estimar o quão correta ou errada é a resposta dada:
Objetivo específico: Definir um método de tomada de decisão para a ICC colaborativa e híbrida baseado na manipulação de variáveis comportamentais e neurais	Objetivo específico: Desenvolver uma tarefa de tomada de decisão computadorizada:
Objetivo específico: Desenvolver uma interface cérebro-computador colaborativa e híbrida”	Objetivo específico: Desenvolver um ambiente para coleta de medidas neurais e comportamental:
Objetivo específico: Avaliar o ambiente	Objetivo específico: Identificar se existe relação entre as medidas neurais e comportamental com a tomada de decisão correta ou incorreta
	Objetivo específico: Avaliar a relação entre medidas neurais e comportamental com as respostas subjetivas sobre percepção na execução da tarefa:

Autor: Do autor.

6.2. Trabalhos Futuros

Novas abordagens para sumarização dos dados coletados, como utilização de outras medidas, tais como a mediana, desvio padrão, coeficiente de assimetria e amplitude

podem ser utilizadas. Ainda, novos períodos podem ser definidos, como a divisão do ensaio em períodos menores, para aumentar o número de características extraídas.

A aplicação de outras técnicas de classificação, como *SVM* e Redes Neurais, sobre os dados coletados, também podem ser utilizadas, buscando novas interpretações e contribuições para o tema relacionado à ICCc.

Durante o experimento, juntamente com o registro dos dados citados no estudo, foram registrados dados brutos (RAW) dos 14 eletrodos do Emotiv. Estes dados não foram utilizados neste trabalho, porém, podem possuir informações significantes para novas análises.

Uma etapa de treinamento pode ser incluída no método do experimento. Esta etapa não foi realizada anteriormente, pois acreditava-se que poderia interferir nos dados coletados. Apesar disso, verificou-se que a falta desta, gerou dúvidas sobre a efetiva compreensão da tarefa pelo participante. Deste modo, uma etapa de treinamento, com um conjunto de estímulos diferentes dos da tarefa, isolaria o fator aprendizado, e não prejudicaria a execução do experimento, uma vez que o participante não conheceria a sequência de estímulos.

Para a utilização do método de regressão, o tamanho da amostra referente aos participantes e aos dados coletados mostrou-se adequada. Entretanto, para uma melhor generalização, ou ainda, aplicação de outras técnicas de classificação, uma amostra maior pode trazer benefícios.

Optou-se neste trabalho por basear-se exclusivamente na resposta dada pelo participante para realizar a classificação, relacionando assim, medidas neurais e comportamental com a resposta correta ou incorreta. Novas classes podem ser abordadas, levando em consideração os níveis de dificuldade dos estímulos, o que, confirmado nos testes, podem representar um nível de certeza com que o participante toma as decisões.

Com os dados coletados, verificou-se que a maioria das respostas dadas eram corretas, isso faz com que boa parte das observações tenham relação somente com respostas corretas, sobrando somente em torno de 20% das observações para respostas erradas, o que torna as observações desbalanceadas. Em uma nova abordagem, pode-se ajustar a quantidade de ensaios pelo grau de similaridade, de maneira a observar uma quantidade balanceada de respostas corretas e erradas.

6.3. Lições Aprendidas

Ao se trabalhar com grande volume de dados, é necessário que, no planejamento da pesquisa, exista um tempo de análise inicial, para compreensão dos dados, a fim de poderem ser definidos os melhores métodos de análise. Juntamente no planejamento, deve-se prever um tempo para realizar estudos adicionais de técnicas que possam ser necessárias para estas análises.

Neste trabalho, todos os testes realizados com participantes, foram executados em datas e horários diferentes. Isso demanda que a estrutura para execução dos testes seja montada toda vez que fosse executada. Como descrito anteriormente, o tempo para montagem da estrutura é o mesmo que para execução do teste em si. Este fato, aumenta consideravelmente o tempo para a execução dos experimentos. Um recrutamento com um agendamento de testes para o mesmo dia e período, facilitaria e reduziria o tempo disposto para execução dos testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AMI13] Amiri, S.; Fazel-Rezai, R.; Asadpour, V. "A review of hybrid brain-computer interface systems". *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2013, 2013, pp. 1-8.
- [ADA16] Adams, E.; Schuh, A.; Campos, M. B.; Barbosa, D.; Mossmann, J. B. "Serial Sequence Learning on Digital Games". In: 18th International Conference on Human-Computer Interaction, 2016, pp. 227-284.
- [BAH10] Bahrami, B.; Olsen, K.; Latham, P. E.; Roepstorff, A.; Rees, G.; Frith, C. D. "Optimally interacting minds". *Science*, vol. 27, 2010, pp. 1081-1085.
- [BEA07] Bear, M. F. "Neuroscience: exploring the brain". Lippincott Williams & Wilkins, 2007, 857p.
- [BEN08] Bento, V. A. F. "Desenvolvimento de Interface Cérebro-Computador baseada em sinais EEG", Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008, 122p.
- [BER07] Berger, T. W.; Chapin, J. K.; Gerhardt, G. A.; McFarland, D. J.; Principe, J. C.; Soussou, W. V.; Taylor, D. M.; Tresco, P. A. "International Assessment of Research and Development in Brain-Computer Interfaces". Springer, 2007, 281p.
- [BRA16] Brasil. "Resolução Nº 466". Capturado em: "<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>", Dezembro 2016.
- [CAR13] Cardoso, C. O.; Cotrena, C. "Tomada de decisão examinada pelo Iowa Gambling Task: Análise das variáveis de desempenho". *Revista Neuropsicologia Latinoamericana*, vol. 5, 2013, pp. 24-30.
- [CEC14a] Cecotti, H.; Rivet, B. "Subject combination and electrode selection in cooperative brain-computer interface based on event related potentials". *Brain Sciences*, vol. 4, 2014, pp. 335-355.
- [CEC14b] Cecotti, H.; Rivet, B. "Performance estimation of a cooperative brain-computer interface based on the detection of steady-state visual evoked potentials". In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2014, pp. 2059-2063.
- [CES11] Cesar, A. M. R. V. C.; Fregni, F.; Perez, G.; Colturato, C. "Estudos Experimentais Sobre Tomada de Decisão: Uma Revisão de Literatura da Parceria Entre a Área de Negócios e a de Neurociência Cognitiva". *Advances in Scientific and Applied Accounting*, vol. 4, 2011, pp. 1-18.
- [CHI00] Chiavenato, I. "Administração: Teoria, Processo e Prática". McGraw-Hill do Brasil, 1985, 381p.
- [CON17] Conteúdo Externo. "Conteúdo Externo". Capturado em: "<https://drive.google.com/drive/folders/0B8fyhxlMHwQWTmJNb25kTHpOZ3c?usp=sharing>", Janeiro 2017.
- [COR07] Corrar, L.; Paulo, E.; Dias Filho, J. M. "Análise multivariada". Editora Atlas, 2007, 541p.

- [DAM94] Damásio, A. "O erro de descartes". Companhia das Letras, 1994, 380p.
- [DON00] Donchin, E.; Spencer, K. M.; Wijesinghe, R. "The Mental Prosthesis: Assessing the Speed of a P300-Based Brain-Computer Interface". *IEEE Transactions On Rehabilitation Engineering 2*, vol. 8, 2000, pp. 174-179.
- [DON02] Donoghue, J. P. "Connecting cortex to machines: recent advances in brain interfaces". *Nature Neuroscience*, vol. 5, 2002, pp. 1085-1088.
- [ECK12] Eckstein, M. P.; Das, K.; Pham, B. T.; Peterson, M. F.; Abbey, C. K.; Sy, J. L.; Giesbrecht, B. "Neural decoding of collective wisdom with multi-brain computing". *NeuroImage*, vol. 59, 2012, pp. 94-108.
- [EMO16] Emotiv. "Emotiv". Capturado em: "www.emotiv.com", Julho 2016.
- [FER08] Ferreira, A. "Uma proposta de interface cérebro-computador para comando de cadeira de rodas", Tese de Doutorado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008, 136p.
- [FER15] Ferreira, J. C.; Patino, C. M. "What does the p value really mean?". Capturado em: "http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132015000500485", Novembro 2016.
- [GRA10] Graimann, B.; Allison, B.; Pfurtscheller, G. "Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction". *Brain-Computer Interfaces*, vol. 1, 2010, pp. 1-27.
- [GUY93] Guyton, A. C. "Neurociência Básica: Anatomia e Fisiologia". Editora Guanabara Koogan S.A, 1993, 345p.
- [HAI05] Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E. "Multivariate Data Analysis". Prentice Hall, 2005, 730p.
- [HAG06] Hagen, G.F.; Gatherwright J. R.; Lopez B. A.; Polich J. "P3a from visual stimuli: task difficulty effects". *International Journal of Psychophysiology*, vol. 59, 2006, pp. 8-14.
- [HOW96] Howard, T. "Beyond the Big Barrier". Capturado em: "<http://www.cs.man.ac.uk/~toby/writing/PCW/bci.html>", Dezembro 2015.
- [KAT15] Kattan, A.; Doctor, F; Arif, M. "Two Brains Guided Interactive Evolution". In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2015, pp. 3203-3208.
- [KIT07] Kitchenham, B. A.; Charters, S. "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering", Relatório Técnico, Keele University, 2007, 65p.
- [KOR15] Korczowski, L.; Congedo, M.; Jutten, C. "Single-trial classification of multi-user P300-based Brain-Computer Interface using riemannian geometry". In: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2015, pp. 1769-1772.
- [LAC07] Lachtermacher, G. "Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel". Elsevier, 2007, 223p.
- [LEB06] Lebedev, M. A.; Nicolelis, M. A. "Brain-machine interfaces: past, present and future". *Trends in Neurociences*, vol. 29, 2006, pp. 536-546.
- [LEN04] Lent, R. "Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência". Editora Atheneu, 2004, 765p.

- [LEU09] Leuthardt, E. C.; Schalk, G.; Roland, J.; Rouse, A.; Moran, D. W. "Evolution of brain-computer interfaces: going beyond classic motor physiology". *Neurosurgical Focus*, vol. 27, 2009, pp. 1-11.
- [LIN15] Lin, K.; Chen, X.; Huang, X.; Ding, Q.; Gao, X. 'A Hybrid BCI speller based on the combination of EMG envelopes and SSVEP". *Applied Informatics*, vol. 4, 2015, pp. 1-12.
- [LOT07] Lotte, F.; Congedo, M.; Lécuyer, A.; Lamarche, F.; Arnaldi, B. "A Review of Classification Algorithms for EEG-based Brain-Computer Interfaces". *Journal of Neural Engineering*, vol. 4, 2007, pp. R1-R13.
- [MAI06] Maison, S.; Kronegg, J.; Huggins, J.; Fatourech, M.; Schlogl, A. "Evaluating the Performance of Self-Paced Brain-Computer Interface Technology", Relatório Técnico, Neil Squire Society, 2006, 56p.
- [MAN02] Manes, F.; Sahakian, B.; Clark, L.; Rogers, R.; Antoun, N.; Aitken, M.; Robbins, T. "Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex". *Brain: a journal of neurology*, vol. 125, 2002, pp. 624-639.
- [MAT14] Matran-Fernandez, A.; Poli, R. "Collaborative brain-computer interfaces for target localisation in rapid serial visual presentation". In: 6th Computer Science and Electronic Engineering Conference, 2014, pp. 127-132.
- [MAT13] Matran-Fernandez, A.; Poli, R.; Cinel, C. "Collaborative brain-computer interfaces for the automatic classification of images". In: International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, 2013, pp. 1096-1999.
- [MAX09] Maximiano, A. C. A. "Introdução à Administração". Editora Compacta, 2009, 442p.
- [MIN16] MindYourOSCs. "MindYourOSCs". Capturado em: "<http://www.emotiv.com/product/mind-your-oscs/>", Julho 2016.
- [MIN76] Mintzberg, H.; Raisighani, D.; Theret, A. "The Structure of "Instrutured" Decision Process". *Administrative Science Quaterly*, vol. 21, 1976, pp. 246-275.
- [NEU16] Neurosky. "Neurosky". Capturado em: "<http://www.neurosky.com/Products/MindWave.aspx>", Outubro 2016.
- [NIC12] Nicolas-Alonso, L. F.; Gomez-Gil, J. "Brain Computer Interfaces, a Review". *Sensors*, vol. 12, 2012, pp. 1211-1279.
- [NIC11] Nicolelis, M. A.L. "Muito além do nosso eu: a nova neurociência que une cérebros e máquinas e como ela pode mudar nossas vidas". Companhia das Letras, 2011, 512p.
- [NIE05] Niedermeyer, E.; Silva, F. L. "Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields". Lippincott Williams & Wilkins, 2005, 1296p.
- [NON12] Nonohay, R. G. "Tomada de decisão e os sistemas cerebrais: primeiros diálogos entre administração, psicologia e neurofisiologia", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012, 162p.
- [PFU10] Pfurtsheller, G.; Allison B. Z.; Brunner, C.; Bauernfeind, G.; Solis-Escalante, T.; Scherer, R.; Zander, T. O.; Mueller-Putz, G.; Neuper, C.; Birbaumer, N. "The Bybrid BCI". *Frontiers in Neuroscience*, vol. 4, 2010, pp. 1-11.

- [PIF14] Piffer, I. "Sistema computacional aplicado à aquisição de medidas neurofisiológicas", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Feevale, 2014, 112p.
- [PIF15] Piffer, I.; Schuh, A. R.; Mossmann, J. B.; Bez, M. R. "INTELLECTUS - Software de catálogo de medidas fisiológicas baseadas em eletroencefalograma como ferramenta de apoio a avaliação de jogos digitais". In: GamePad - Seminário de Games e Tecnologia, 2015, pp. 1-17.
- [POL13a] Poli, R.; Cinel, C.; Matran-Fernandez, A.; Sepulveda, F.; Stoica, A. "Towards Cooperative Brain-computer Interfaces for Space Navigation". In: International Conference on Intelligent User Interfaces, 2013, pp. 149-160.
- [POL13b] Poli, R.; Cinel, C.; Sepulveda, F.; Stoica, A. "Improving decision-making based on visual perception via a collaborative brain-computer interface". In: IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support, 2013, pp.1-8.
- [POL14] Poli, R.; Valeriani, D.; Cinel, C. "Collaborative brain-computer interface for aiding decision-making". *PLoS one*, vol. 9, 2014, pp. 1-22.
- [POL15] Poli, R.; Valeriani, D.; Cinel, C. "A Collaborative Brain-Computer Interface for Improving Group Detection of Visual Targets in Complex Natural Environments". In: 7th Annual International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 2015, pp. 25-28.
- [ROG13] Rogers, Y.; Sharp, H.; Preece, J. "Design de interação: além da interação humano – computador". Bookman, 2013, 600p.
- [SCH16] Schuh, A.; Campos, M. B.; Bez, M.; Mossmann, J. B. "Usability Evaluation of a Wheelchair Virtual Simulator Controlled by a Brain-Computer Interface: Lessons Learned to the Design Process". In: 18th International Conference on Human-Computer Interaction, 2016, pp. 1-8.
- [SHA10] Shamsaei, G. R. "Review Of Clinical Electroencephalography". Capturado em: "<http://pt.scribd.com/doc/32202752/Review-of-Clinical-EEG>", Abril 2015.
- [SIM70] Simon, H. A. "Comportamento Administrativo. Estudo dos Processos Decisórios nas Organizações Administrativas". FGV, 1970, 277p.
- [SPE13] Spence, R.; Witkowski, M. "Rapid Serial Visual Presentation: Design for Cognition". Springer, 2013, 110p.
- [SQL16] SQLite. "SQLite". Capturado em: "<http://www.sqlite.org>", Julho 2016.
- [STA16] Start. "Start". Capturado em: "http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool", Julho 2016.
- [STO12] Stoica, A. "MultiMind: multi-brain signal fusion to exceed the power of a single brain". In: 3rd International Conference on Emerging Security Technologies, 2012, pp. 95-98.
- [STO13] Stoica, A.; Matran-Fernandez, A.; Andreou, D.; Poli, R.; Cinel, C.; Iwashita, Y.; Padgett, C. "Multi-brain fusion and applications to intelligence analysis". In: The International Society for Optical Engineering, 2013, pp. 1-8.

- [TAT08] Tatum, W. O.; Husain, A. M.; Bendadis, S. R.; Kaplan, P. W. "Handbook of EEG Interpretation". William O. Tatum, 2007, 376p.
- [TAV11] Tavares, M. C. "EEG e Potenciais Evocados – Uma Introdução". Capturado em: "http://www.contronic.com.br/artigos/eeg_e_potenciais_evocados_uma_introducao", Julho 2016.
- [TOU14] Touyama, H. "A collaborative BCI system based on P300 signals as a new tool for life log indexing". In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2014, pp. 2843-2846.
- [UNY16] Unity3d. "Unity3d". Capturado em: "<http://www.unity3d.com>", Julho 2016.
- [VAL15a] Valeriani, D.; Poli, R.; Cinel, C. "A collaborative Brain-Computer Interface for improving group detection of visual targets in complex natural environments". In: 7th Annual International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 2015, pp. 25-28.
- [VAL15b] Valeriani, D.; Poli, R.; Cinel, C. "A collaborative Brain-Computer Interface to improve human performance in a visual search task". In: 7th Annual International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 2015, pp. 218-223.
- [WAZ09] Wazlawick, R. S. "Metodologia de pesquisa para Ciência da Computação". Elsevier, 2009, 159p.
- [WAN11a] Wang, Y.; Jung, T-P. "A Collaborative Brain-Computer Interface for Improving Human Performance". *PLoS one*, vol. 6, 2011, pp 1-11.
- [WAN11b] Wang, Y.; Wang, Y.-T.; Jung, T.-P.; Gao, X.; Gao, S. "A collaborative brain-computer interface". In: 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, 2011, pp. 583-586.
- [WOL07] Wolpaw, J. R. "Brain-computer interfaces as new brain output pathways". *The Journal of Physiology Online*, vol. 579, 2007, pp. 613-619.
- [WOL02] Wolpaw, J. R.; Birbaumer, N.; McFarland, D. J.; Pfurtscheller, G.; Vaughan, T. M. "Brain-computer interfaces for communication and control". *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, 2002, pp. 767-791.
- [YIN15] Yin, X.; Xu, B.; Jiang, C.; Fu, Y.; Wang, Z.; Li, H.; Shi, G. "A hybrid BCI based on EEG and fNIRS signals improves the performance of decoding motor imagery of both force and speed of hand clenching". *Journal of Neural Engineering*, vol. 12, 2015, pp. 1-12.
- [YUA12] Yuan P.; Wang, Y.; Wu, W.; Xu, H.; Gao, X.; Gao, S. "Study on an online collaborative BCI to accelerate response to visual targets". In: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2012, pp. 1736-1739.

- [YUA13] Yuan, P.; Wang, Y.; Gao, X.; Jung, T.-P.; Gao, S. "A collaborative brain-computer interface for accelerating human decision making". *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8009, 2013, pp. 672-681.

APÊNDICE A

Modelos dos questionários que foram preenchidos pelos participantes.

Perfil do usuário

* Required

Obrigado por aceitar participar deste estudo. Inicialmente, você deverá responder algumas questões sobre o seu perfil. O próximo passo será utilizar o software em duas etapas. Na Etapa 1, você terá 56 pequenos desafios, que envolvem atenção visual. Após, deverá responder ao questionário "Pós-Teste: Etapa 1". Descansará por, aproximadamente, 10 minutos e será dado início à Etapa 2. Você terá outros 56 desafios para resolver, similares aos da Etapa 1, e o questionário "Pós-Teste: Etapa 2" para responder.

1. Identificador: *

.....

2. Nome: *

.....

3. Gênero *

Mark only one oval.

- Feminino
 Masculino

4. Faixa etária *

Mark only one oval.

- 18 a 27 anos
 28 a 37 anos
 38 a 47 anos
 48 a 57 anos
 Mais do que 57 anos

5. Você é fotossensível (possui sensibilidade à luz) com imagens piscantes? *

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Não sei

23/01/2017

Perfil do usuário

6. Você é: **Mark only one oval.*

- Canhoto
- Destro
- Ambidestro

7. Com qual mão você, preferencialmente, maneja o mouse e os botões do mouse? **Mark only one oval.*

- Mão direita
- Mão esquerda
- Ambas

8. Geralmente, como você maneja o teclado? **Check all that apply.*

- Mão direita, predominantemente com dois dedos
- Mão direita, predominantemente com todos os dedos
- Mão esquerda, predominantemente com dois dedos
- Mão esquerda, predominantemente com todos os dedos
- Sem olhar o teclado
- No estilo "catando milho"
- Other:

9. Sobre sua habilidade com as mãos, como você costuma escrever mensagens escritas no smartphone? **Mark only one oval.*

- Segurando com a mão esquerda e escrevendo, predominantemente, com um dedo da mão direita
- Segurando com a mão direita e escrevendo, predominantemente, com um dedo da mão esquerda
- Segurando com a mão esquerda e escrevendo, predominantemente, com um dedo dessa mesma mão (esquerda)
- Segurando com a mão direita e escrevendo, predominantemente, com um dedo dessa mesma mão (direita)
- Segurando com as duas mãos e escrevendo, predominantemente, com um dedo da mão direita
- Segurando com as duas mãos e escrevendo, predominantemente, com um dedo da mão esquerda
- Segurando com as duas mãos e escrevendo, predominantemente, com um dedo de cada mão
- Não costumo utilizar smarphone
- Other:

23/01/2017

Perfil do usuário

10. **Quantas vezes você jogou um jogo de percepção visual na última semana? ***

Mark only one oval.

- Nenhum dia
 De 1 a 2 dias
 De 3 a 4 dias
 De 5 a 6 dias
 Todos os dias

Obrigado pelo preenchimento das informações sobre o seu perfil.

Pós-teste: Etapa 1

Antes de darmos início à realização dos desafios da Etapa 1, vamos conhecer as questões do questionário "Pós-Teste: Etapa 1". Essas questões deverão ser respondidas imediatamente após a realização dos desafios da Etapa 1.

11. **Você sentiu sensações de incômodo visual: ***

Check all that apply.

- Mais no início da Etapa 1
 Mais no final da Etapa 1
 Ao longo de toda a realização da Etapa 1
 Não sentiu incômodo
 Other:

12. **No geral, sobre o uso de teclas do teclado para indicar as escolhas "iguais" e "diferentes", você considera que foi: ***

Mark only one oval.

- 1 2 3 4 5
 Dificil Fácil

13. **No geral, como você se sentiu durante a realização dos desafios? ***

Mark only one oval.

- 1 2 3 4 5
 Distraído Atento

14. *

Mark only one oval.

- 1 2 3 4 5
 Descomprometido Engajado

23/01/2017

Perfil do usuário

15. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Frustrado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Satisfeito

16. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Entediado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Excitado

17. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Estressado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Relaxado

18. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nervoso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Calmo

19. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Iritado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tranquilo

20. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Inseguro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Seguro

21. **Alguma dessas sensações variou ao longo da realização dos desafios? Por exemplo, você acha que iniciou tendo uma sensação e ela se alterou na medida em que foi resolvendo os desafios? Você considera que alguma dessas sensações somente surgiu em determinado momento da realização da Etapa 1? Explique, destacando a(s) sensação(ões) e, se possível, identifique se foi mais no início, durante ou no final da Etapa 1.**

.....

.....

.....

.....

23/01/2017

Perfil do usuário

22. No geral, você acha que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os "iguais" ou os "diferentes"?

Mark only one oval.

- Iguais
- Diferentes
- Acha que não houve diferença significativa
- Não sabe
- Other:

23. Você acha que sua taxa de acerto foi melhor em que fase da Etapa 1?

Mark only one oval.

- Na fase inicial
- Entre a fase inicial e a final
- Na fase final
- Acha que não houve diferença significativa
- Não sabe
- Other:

Obrigado. Etapa 1 finalizada. A próxima etapa consiste em uma nova bateria de desafios, similares ao que foi realizada na Etapa 1. Para isso, retomaremos a avaliação em aproximadamente 15 minutos.

Pós-teste: Etapa 2

Antes de darmos início à realização dos desafios da Etapa 2, vamos conhecer as questões do questionário "Pós-Teste: Etapa 2".

24. Você sentiu sensações de incômodo visual: *

Check all that apply.

- Mais no início da Etapa 2
- Mais no final da Etapa 2
- Ao longo de toda a realização da Etapa 2
- Não sentiu incômodo
- Other:

25. No geral, sobre o uso de teclas do teclado para indicar as escolhas "iguais" e "diferentes", você considera que foi: *

Mark only one oval.

- | | | | | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Difícil | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Fácil |

23/01/2017

Perfil do usuário

26. **No geral, como você se sentiu durante a realização dos desafios? ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Distraído	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Atento

27. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Descomprometido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Engajado

28. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Frustrado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Satisfeito

29. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Entediado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Excitado

30. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Estressado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Relaxado

31. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nervoso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Calmo

32. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Irritado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tranquilo

23/01/2017

Perfil do usuário

33. *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Inseguro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Seguro

34. **Alguma dessas sensações variou ao longo da realização dos desafios? Por exemplo, você acha que iniciou tendo uma sensação e ela se alterou na medida em que foi resolvendo os desafios? Você considera que alguma dessas sensações somente surgiu em determinado momento da realização da Etapa 2? Explique, destacando a(s) sensação(ões) e, se possível, identifique se foi mais no início, durante ou no final da Etapa 2.**

.....

.....

.....

.....

35. **No geral, você acha que sua taxa de acerto foi melhor em identificar os "iguais" ou os "diferentes"?**

Mark only one oval.

- Iguais
- Diferentes
- Acha que não houve diferença significativa
- Não sabe
- Other:

36. **Você acha que sua taxa de acerto foi melhor em que fase da Etapa 2?**

Mark only one oval.

- Na fase inicial
- Entre a fase inicial e a final
- Na fase final
- Acha que não houve diferença significativa
- Não sabe
- Other:

Obrigado. Etapa 2 finalizada. A próxima etapa consiste em responder questões que resumem a execução das tarefas da Etapa 1 e da Etapa 2.

Comparando a Etapa 1 com a Etapa 2:

23/01/2017

Perfil do usuário

37. **Comparando as sensações de incômodo visual sentidas na realização da Etapa 1 e Etapa 2, você considera que: ***

Check all that apply.

- Sentiu mais incômodos visuais durante a Etapa 1
- Sentiu mais incômodos visuais durante a Etapa 2
- Sentiu os mesmos incômodos visuais na Etapa 1 e Etapa 2
- Não sentiu incômodos visuais nas Etapa 1 e Etapas 2.
- Other:

38. **Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais acertos em qual etapa?**

Mark only one oval.

- Etapa 1
- Etapa 2

39. **Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais atenção (observação) na resolução dos desafios de qual etapa?**

Mark only one oval.

- Etapa 1
- Etapa 2
- Indiferente

40. **Comparando a realização das tarefas da Etapa 1 com a Etapa 2, você considera que teve mais agilidade (coordenação motora e velocidade na seleção das teclas do teclado) na resolução dos desafios de qual etapa?**

Mark only one oval.

- Etapa 1
- Etapa 2
- Indiferente

41. **Você considera que, quanto mais desafios similares aos que foram apresentados tiver que resolver, melhor será sua atenção para observar as sequências visuais?**

Mark only one oval.

- Sim
- Não
- Não fará diferença

42. **Você considera que quanto mais desafios similares aos que foram apresentados tiver que resolver, melhor será sua agilidade (coordenação motora e velocidade na seleção das teclas do teclado) em utilizar as teclas do teclado para indicar "iguais" e "diferentes"?**

Mark only one oval.

- Sim
- Não
- Não fará diferença

23/01/2017

Perfil do usuário

43. **Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo que separa um desafio de outro (marcado pela tela +) foi:**

Mark only one oval.

- Poderia ser menor
 Poderia ser maior
 Foi adequado

44. **Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo para identificar as seqüências iguais e diferentes foi:**

Mark only one oval.

- Poderia ser menor
 Foi adequado
 Poderia ser maior

45. **Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que o tempo para identificar as seqüências iguais e diferentes deveria variar ao longo da Etapa? Por exemplo, começar com uma duração maior e ir reduzindo até se estabilizar.**

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Indiferente

46. **Considerando que é um desafio de atenção visual, você considera que as cores de fundo e dos objetos são claramente identificadas?**

Mark only one oval.

- Sim
 Não
 Indiferente

47. **Deixe sua opinião geral de participação no experimento, comentários, críticas ou sugestões:**

.....
.....
.....
.....

Powered by



APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa intitulado: **Interface Cérebro-Computador Híbrida e Colaborativa no Processo de Tomada de Decisão.**

O trabalho será realizado pelo mestrando Ânderson Rodrigo Schuh do curso de Mestrado em Ciência da Computação da PUCRS, orientado pela pesquisadora responsável, Dr.^a. Marcia de Borba Campos. O objetivo deste estudo é o desenvolvimento e avaliação de uma Interface Cérebro-Computador Colaborativa e Híbrida para o melhorar o processo de tomada de decisão.

Sua participação nesta pesquisa será voluntária e consistirá em primeiramente responder a um questionário individual. Após isso será realizado um experimento, de forma individual. No experimento, será necessário o registro da sua atividade neural a partir de um equipamento de eletroencefalograma (EEG), que será colocado em contato de sua cabeça, enquanto você realiza uma tarefa no computador. Os dados do EEG juntamente com os dados coletados pelo computador serão analisados posteriormente. Durante o uso do EEG pode-se sentir um desconforto, como se ele estivesse apertado.

Não haverá riscos relacionados à sua participação nesta pesquisa. A sua participação nesta pesquisa estará contribuindo para informações de fins acadêmicos, incluindo a possibilidade de publicações científicas. Garantimos o sigilo de seus dados de identificação primando pela privacidade e por seu anonimato.

Você tem a liberdade de optar pela participação na pesquisa e retirar o consentimento a qualquer momento, sem a necessidade de comunicar-se com o(s) pesquisador(es). Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será rubricado em todas as folhas e assinado em duas vias, permanecendo uma com você e a outra deverá retornar ao pesquisador. Abaixo, você tem acesso ao telefone e ao endereço eletrônico institucional do pesquisador responsável, podendo esclarecer suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, em qualquer momento no decorrer da pesquisa.

Telefone institucional do pesquisador responsável: (51) 3320.3500 - RAMAL 8635.

E-mail institucional do pesquisador responsável: marcia.campos@pucrs.br

Nome do pesquisador responsável: Professora Dr.^a. Marcia de Borba Campos

Assinatura do pesquisador responsável

Local e data: _____, _____ de _____ 2016.

Declaro que li o TCLE: concordo com o que me foi exposto e aceito participar da pesquisa proposta.

Assinatura do sujeito da pesquisa