



HERMENEGILDO WOROPO ALBINO PAIVA

**USO DE REALIDADE VIRTUAL E DO
ELETROENCEFALOGRAMA NA CLASSIFICAÇÃO DE
EMOÇÕES**

LAVRAS–MG

2026

HERMENEGILDO WOROPO ALBINO PAIVA

**USO DE REALIDADE VIRTUAL E DO ELETROENCEFALOGRAMA NA
CLASSIFICAÇÃO DE EMOÇÕES**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Programa de Pós-graduação
em Ciência da Computação, área de
concentração em Redes de Computadores, para
a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Renata Lopes Rosa

Orientador

Prof. Dr. Demóstenes Zegarra Rodrigues

Coorientador

LAVRAS – MG

2026

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Paiva, Hermenegildo Woropo Albino.

Uso de Realidade virtual e do Eletroencefalograma na classificação de emoções /
Hermenegildo Woropo Albino Paiva. - 2026.
129 p. : il.

Orientadora: Renata Lopes Rosa

Coorientador: Demostenes Zegarra Rodrigues

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Realidade Virtual. 2. Eletroencefalograma. 3. Monitoramento emocional. 4.
Processamento offline. I. Rosa, Renata Lopes. II. Rodrigues, Demostenes Zegarra. III.
Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

HERMENEGILDO WOROPO ALBINO PAIVA

**USO DE REALIDADE VIRTUAL E DO ELETROENCEFALOGRAMA NA
CLASSIFICAÇÃO DE EMOÇÕES**

**USE OF VIRTUAL REALITY AND ELECTROENCEPHALOGRAPHY FOR
EMOTION CLASSIFICATION**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Programa de Pós-graduação
em Ciência da Computação, área de
concentração em Redes de Computadores, para
a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de junho de 2026.

Prof. Dr. Dante Coaquira Begazo	USP
Prof. Dra. Katia Cilene Neles Da Silva	UEA

Documento assinado digitalmente
 **RENATA LOPES ROSA**
Data: 03/08/2026 15:43:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Renata Lopes Rosa
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **DEMOSTENES ZEGARRA RODRIGUEZ**
Data: 03/08/2026 15:48:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Demóstenes Zegarra Rodrigues Co-
Orientador

**LAVRAS – MG
2026**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente deixo o agradecimento a Deus por me dar a força e perseverança nessa jornada, à minha família, pelo apoio irrestrito para os meus estudos desde muito cedo. Tudo que até aqui aprendi devo a eles.

Agradeço também aos professores Renata Lopes Rosa e Demóstenes pelas horas dedicadas à minha orientação. Somente pelos seus direcionamentos este trabalho tornou-se possível.

A minha gratidão se estende à agência de fomento CAPES pelo apoio financeiro e institucional, sem o qual eu não estaria aqui fazendo o Mestrado e este estudo não teria sido possível. O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – brasil (capes) – código de financiamento 001.

RESUMO

Em um contexto global de crescente interesse pela integração de tecnologias imersivas e neurofisiológicas, a literatura tem investigado amplamente o uso da Realidade Virtual (RV) e da Eletroencefalografia (EEG) como uma abordagem inovadora para o monitoramento de estados emocionais. Nesse contexto, foi conduzida inicialmente uma revisão sistemática da literatura, orientada pelos critérios PRISMA, com o objetivo de identificar evidências recentes sobre a aplicação integrada dessas tecnologias. Em seguida, este estudo analisou sinais eletroencefalográficos e investigou a relação entre padrões neurais e estados emocionais de usuários durante a exposição a diferentes cenários de RV. Na etapa experimental, foram coletados sinais de EEG de participantes durante a imersão em ambientes virtuais com diferentes níveis de estímulos sensoriais. Os dados obtidos foram submetidos ao pré-processamento e, posteriormente, à extração de características relevantes, incluindo informações provenientes das bandas de frequência associadas às respostas emocionais. A interpretação dos dados foi realizada por meio da análise dos padrões neurofisiológicos observados nas diferentes condições experimentais, permitindo identificar variações relacionadas a estados como relaxamento, excitação e estresse. Diferentemente de abordagens baseadas em adaptação dinâmica em tempo real, o presente estudo adota um modelo de processamento offline, no qual os dados são analisados posteriormente à coleta, proporcionando maior controle metodológico e contribuindo para uma análise mais detalhada das respostas emocionais em ambientes imersivos. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da relação entre sinais de EEG e experiências em Realidade Virtual, oferecendo subsídios para futuras aplicações voltadas ao monitoramento emocional e ao desenvolvimento de sistemas baseados na integração entre RV e EEG.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Eletroencefalograma, Monitoramento emocional, Processamento offline.

ABSTRACT

In the context of the growing global interest in the integration of immersive and neurophysiological technologies, the literature has extensively investigated the use of Virtual Reality (VR) and Electroencephalography (EEG) as an innovative approach to monitoring emotional states. In this context, a systematic literature review was initially conducted following the PRISMA guidelines to identify recent evidence regarding the integrated application of these technologies. Subsequently, this study analyzed electroencephalographic signals and investigated the relationship between neural patterns and users' emotional states during exposure to different VR scenarios. In the experimental stage, EEG signals were collected from participants during immersion in virtual environments with varying levels of sensory stimulation. The collected data were subjected to preprocessing, followed by the extraction of relevant features, including information derived from frequency bands associated with emotional responses. Data interpretation was performed through the analysis of neurophysiological patterns observed under the different experimental conditions, enabling the identification of variations related to states such as relaxation, arousal, and stress. Unlike approaches based on real-time dynamic adaptation, the present study adopts an offline processing model, in which the data are analyzed after acquisition, providing greater methodological control and enabling a more detailed analysis of emotional responses in immersive environments. The results contribute to a better understanding of the relationship between EEG signals and Virtual Reality experiences, providing a foundation for future applications focused on emotional monitoring and the development of systems based on the integration of VR and EEG.

Keywords: Virtual Reality, Electroencephalography, Emotional Monitoring, Offline Processing.

INDICADORES DE IMPACTO

A pesquisa apresenta impactos potenciais de natureza tecnológica, científica, social e econômica ao propor um protocolo integrado de Realidade Virtual (RV) e Eletroencefalografia (EEG) para o monitoramento de estados emocionais em ambientes imersivos. O impacto tecnológico consiste no desenvolvimento de uma metodologia que integra dispositivos de RV, aquisição e processamento de sinais eletroencefalográficos e técnicas de análise computacional, podendo servir de base para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de reconhecimento de emoções, interfaces cérebro-computador e aplicações em pesquisa e inovação. Sob o aspecto científico e social, a pesquisa amplia o conhecimento sobre a relação entre estímulos imersivos e respostas neurais, favorecendo a evolução de estudos em Ciência da Computação, Neurociência, Inteligência Artificial e Processamento de Sinais, além de contribuir para a formação de recursos humanos qualificados.

Do ponto de vista econômico, os resultados poderão reduzir custos de futuras pesquisas ao disponibilizar um protocolo experimental reproduzível, passível de adaptação por instituições de ensino, pesquisa e empresas de base tecnológica. O trabalho possui potencial extensionista, uma vez que sua metodologia poderá subsidiar futuras parcerias entre universidades, centros de pesquisa, empresas e demais instituições interessadas no desenvolvimento de tecnologias de monitoramento emocional. Os impactos previstos abrangem, em potencial, instituições de ensino e pesquisa, empresas de tecnologia e inovação e organizações interessadas em tecnologias imersivas, com alcance regional, nacional e internacional.

Os grupos potencialmente beneficiados incluem pesquisadores, docentes, estudantes de graduação e pós-graduação, desenvolvedores de tecnologias baseadas em EEG e RV e profissionais que atuam em pesquisa aplicada. Os impactos classificam-se principalmente nas áreas temáticas Tecnologia e Produção (7) e Educação (4) da Política Nacional de Extensão, com interface na área Saúde (6) em razão da utilização de tecnologias de monitoramento fisiológico. A pesquisa encontra-se alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 4 (Educação de Qualidade), ao fortalecer a formação científica e tecnológica; ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao incentivar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras baseadas em Realidade Virtual e Eletroencefalografia; e ao ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), por favorecer futuras colaborações entre universidades, centros de pesquisa e organizações voltadas à inovação tecnológica.

IMPACT INDICATORS

This research presents potential technological, scientific, social, and economic impacts by proposing an integrated protocol that combines Virtual Reality (VR) and Electroencephalography (EEG) for monitoring emotional states in immersive environments. The technological impact lies in the development of a methodology that integrates VR devices, EEG signal acquisition and processing, and computational analysis techniques, providing a foundation for the development of intelligent emotion recognition systems, brain-computer interfaces, and applications in research and innovation. From scientific and social perspectives, the study expands knowledge of the relationship between immersive stimuli and neural responses, supporting advances in Computer Science, Neuroscience, Artificial Intelligence, and Signal Processing, while also contributing to the education and training of qualified human resources.

From an economic perspective, the proposed protocol may reduce the costs of future research by providing a reproducible experimental methodology that can be adapted by educational institutions, research centers, and technology-based companies. The study also has extension potential, as its methodology may support future collaborations among universities, research centers, companies, and other organizations interested in developing emotional monitoring technologies. The expected impacts potentially benefit educational and research institutions, technology and innovation companies, and organizations interested in immersive technologies at regional, national, and international levels.

The groups potentially benefited include researchers, faculty members, undergraduate and graduate students, developers of EEG- and VR-based technologies, and professionals engaged in applied research. The impacts are mainly classified within the thematic areas of Technology and Production (7) and Education (4) of the Brazilian National Extension Policy, with an interface in the health (6) area due to the use of physiological monitoring technologies. Furthermore, the research is aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 4 (Quality Education) by strengthening scientific and technological training, SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) by fostering the development of innovative technologies based on Virtual Reality and Electroencephalography, and SDG 17 (Partnerships for the Goals) by encouraging future collaborations among universities, research centers, and organizations dedicated to technological innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estrutura interna do cérebro.....	21
Figura 2.2 - Lobos do cérebro humano e suas funcionalidades.	22
Figura 2.3 - Mapa funcional do cérebro	23
Figura 2.4 - Sistema Internacional 10-20.	25
Figura 2.5 - Processo de análise de sinais de EEG.....	26
Figura 2.6 - Diagrama de análise de frequência e potência das ondas.	28
Figura 2.7- Frequências de ondas cerebrais	29
Figura 4.1 - Participante utilizando o dispositivo EEG de olhos abertos.....	46
Figura 4.2 - Participante utilizando o dispositivo EEG de olhos fechados.	46
Figura 4.3 - Participante utilizando o dispositivo óculos RV.....	47
Figura 4.4 - Fluxograma experimental	47
Figura 4.5 - Floresta com vegetação, árvores e sons da natureza.....	51
Figura 4.6 - Chuva, Vegetação, ambiente natural com precipitação e sons de chuva. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).....	51
Figura 4.7 - Montanhas, paisagem montanhosa e sons naturais.....	52
Figura 4.8 - Interface inicial do software de aquisição e monitoramento dos sinais de EEG ..	53
Figura 4.9 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a condição de olhos abertos.	54
Figura 4.10 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a condição de repouso com os olhos fechados.	55
Figura 4.11 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a exposição ao ambiente de Realidade Virtual	55
Figura 4.12 - Sinais de EEG dos 16 canais baseline olhos abertos com duração de 2 minutos.	56
Figura 4.13 - Abordagem de processamento e extração de características de EEG (inferência emocional em RV).	58
Figura 5.1 - Media de comparação das condições experimentais dos participantes.	75
Figura 5.2 -Classificação emocional por condição experimental.....	77
Figura 5.3 - Índice do arousal por condição experimental dos participantes.	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Faixa etária.....	66
Gráfico 2 - Gênero.....	66
Gráfico 3 – Escolaridade.	67
Gráfico 4 - Histórico de familiaridade com tecnologias digitais.....	68
Gráfico 5 - Experiência prévia dos participantes com tecnologias digitais.....	69
Gráfico 6 - Experiência prévia dos participantes com RV.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 --Tipos de ondas, suas faixas de frequência e relações.	28
Quadro 3.1 - Comparação dos trabalhos relacionados quanto aos objetivos, tecnologias empregadas e métodos de classificação.....	41
Quadro 4.1 - Características dos cenários de Realidade Virtual utilizados durante a aquisição dos sinais EEG.....	50

LISTA DE SIGLAS

ADASYN	– Adaptive Synthetic Sampling
ANOVA	– Analysis of Variance
AVC	– Acidente Vascular Cerebral
BAT	– Behavioral Assessment Tool
BCI	– Brain–Computer Interface
BDI	– Beck Depression Inventory
BFNE	– Brief Fear of Negative Evaluation Scale
CAD	– Computer-Aided Diagnosis
CAPES	– Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	– Comitê de Ética em Pesquisa
CNN	– Convolutional Neural Network
CNN-LSTM	– Convolutional Neural Network–Long Short-Term Memory
DE	– Differential Entropy
DEAP	– Database for Emotion Analysis Using Physiological Signals
DENS	– Dataset on Emotion with Naturalistic Stimuli
DSM	– Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
DSR	– Design Science Research
EDF	– European Data Format
EEG	– Eletroencefalograma
EMG	– Eletromiografia
GSR	– Galvanic Skin Response
HMD	– Head-Mounted Display
HMZ-T1	– Sony Head-Mounted Display
HMZ-T1 HRV	– Heart Rate Variability
IA	– Inteligência Artificial
ICA	– Independent Component Analysis
LSTM	– Long Short-Term Memory
MBI	– Maslach Burnout Inventory
MEG	– Magnetoencefalografia

ML	– Machine Learning (Aprendizado de Máquina)
PCA	– Principal Component Analysis
PCL	– Posttraumatic Stress Disorder Checklist
PSD	– Power Spectral Density (Densidade Espectral de Potência)
PTSD	– Post-Traumatic Stress Disorder
RA	– Realidade Aumentada
RF	– Random Forest
RNN	– Recurrent Neural Network
RV	– Realidade Virtual
SEED	– SJTU Emotion EEG Dataset
SMOTE	– Synthetic Minority Over-sampling Technique
SVM	– Support Vector Machine
TAG	– Transtorno de Ansiedade Generalizada
TAS	– Transtorno de Ansiedade Social
TCC	– Terapia Cognitivo-Comportamental
TCCP	– Terapia Cognitivo-Comportamental para o Pânico
TEPT	– Transtorno de Estresse Pós-Traumático
TCLE	– Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TMT	– Trail Making Test
TOC	– Transtorno Obsessivo-Compulsivo
VRET	– Virtual Reality Exposure Therapy
VR-ToMIS	– Virtual Reality-Based Theory of Mind Intervention in Schizophrenia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivos.....	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Problematização.....	14
1.3	Justificativa.....	15
1.4	Estrutura do Documento	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Realidade virtual.....	17
2.2	Imersão	18
2.2.1	Emoções	19
2.2.2	Captura de emoções.....	20
2.3	Cérebro Humano	21
2.3.1	Estruturas e Funções Cerebrais	21
2.4	Eletroencefalograma.....	23
2.4.1	Análise de sentimentos utilizando EEG	25
2.4.2	Integração de sinais de EEG com tecnologia RV	26
2.4.3	Ondas Cerebrais.....	27
2.4.4	Captura de Interações em Ambientes de RV	29
2.5	Unity	30
2.6	Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina em Realidade Virtual	30
3	TRABALHOS RELACIONADOS	32
3.1	Síntese dos trabalhos relacionados e contribuição da proposta.....	40
4	METODOLOGIA.....	43
4.1	Seleção dos Participantes.....	43
4.2	Procedimento de Coleta.....	44
4.3	Protocolo experimental dos testes	45
4.4	Instrumentação e cenário virtual.....	49
4.5	Aquisição dos sinais EEG.....	52

4.6	Análise dos Dados	56
4.7	Banco de dados	58
4.8	Configuração do Sistema EEG e Calibração de Sinais	59
4.8.1	Testes de Usabilidade e Ajustes Técnicos Preliminares	60
4.8.2	Pré-processamento dos sinais EEG	61
4.8.3	Estrutura experimental.....	63
4.8.4	Estrutura dos arquivos e padronização	63
4.8.5	Processamento computacional e estruturação interna	63
4.9	Considerações Éticas e Privacidade dos Dados.....	64
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	Caracterização da Amostra	66
5.1.1	Perfil Sociodemográfico e Clínico dos Participantes	66
5.1.2	Histórico de Experiência com Tecnologias Digitais e RV	68
5.1.3	Análise de Dados de Saúde Mental e Bem-estar Pré-experimento	70
5.2	Implementação do Ambiente Virtual e Integração com EEG.....	71
5.2.1	Testes de Normalidade.....	71
5.3	Inferência e classificação dos estados emocionais a partir do EEG	73
5.3.1	Análise descritiva dos sinais EEG por condição experimental	73
5.3.2	Classificação Emocional Categórica (Discreta)	75
5.3.3	Classificação dimensional dos estados das emoções.....	77
5.4	Discussão dos resultados Neurofisiológicos	79
5.4.1	Comparação entre Condições Experimentais	79
5.5	Avaliação Emocional e Cognitiva	81
5.5.1	Discussão Sobre Eficácia da RV em Induzir Estados Emocionais Positivos	81
5.6	Viabilidade Prática e Técnica da Intervenção.....	83
5.6.1	Experiência do Usuário com RV e EEG.....	83
5.6.2	Considerações Sobre Implementação em Contexto Clínico.....	85
5.7	Impactos Sobre a Saúde Mental e Bem-Estar Emocional	86
5.7.1	Alterações Observadas em Medidas de Ansiedade e Relaxamento	86
5.7.2	Efeitos Cognitivos e de Atenção Durante a Exposição aos Cenários.....	88

5.7.3	Discussão Sobre Potencial Terapêutico e Prevenção de Estresse.....	89
5.8	Reflexões Sobre Ética, Privacidade e Segurança	90
5.8.1	Cumprimento das Normas Éticas (TCLE, Proteção de Dados).....	90
5.8.2	Percepção dos Participantes Sobre Segurança e Conforto	92
5.8.3	Limitações e Cuidados para Futuras Aplicações	93
5.9	Síntese dos Resultados e Implicações para a Prática Clínica	95
5.9.1	Relevância da Integração RV + EEG para Personalização de Intervenções	97
5.9.2	Recomendações para o Uso em Saúde Mental e Estratégias Preventivas	98
6	CONCLUSÃO.....	101
	REFERÊNCIAS	103
	APENDICES	113

1 INTRODUÇÃO

Os transtornos psicológicos configuram um conjunto diversificado de condições que afetam o pensamento, o humor, a percepção e o comportamento dos indivíduos, interferindo significativamente em sua qualidade de vida e em sua capacidade de adaptação ao meio social. Entre os mais comuns destacam-se a ansiedade, a depressão, o transtorno de estresse pós-traumático, os transtornos obsessivo-compulsivos e as fobias, que podem se manifestar de forma isolada ou concomitante. Tais condições comprometem não apenas o bem-estar emocional, mas também o desempenho acadêmico e profissional, as relações interpessoais e a saúde física, evidenciando a importância de intervenções precoces e estratégias baseadas em evidências para promover a reintegração social e funcional do indivíduo (LIMA et al., 2022).

Nesse contexto, as tecnologias imersivas vêm promovendo avanços significativos nos campos da saúde, educação e engenharia. Entre essas tecnologias, a Realidade Virtual (RV) destaca-se por sua capacidade de criar ambientes tridimensionais simulados, interativos e responsivos, permitindo que os usuários vivenciem experiências realistas ou imaginárias com forte sensação de presença. Essa experiência é viabilizada por dispositivos como *head-mounted displays* (HMDs), sensores de movimento e interfaces hápticas, que contribuem para a imersão e para o engajamento do usuário (TORI, 2022).

A aplicação da RV na área da saúde tem se expandido rapidamente, abrangendo desde o treinamento de profissionais em simulações clínicas até o desenvolvimento de intervenções voltadas à reabilitação neurológica e ao suporte psicológico. Sua capacidade de criar ambientes controlados, seguros e adaptáveis favorece o engajamento emocional e a aprendizagem ativa. Além disso, o avanço tecnológico e a redução de custos têm ampliado o acesso a essas soluções em diferentes contextos clínicos (MOREIRA et al., 2024).

Apesar desses avanços, a eficácia da RV ainda pode ser limitada pela dificuldade em compreender, de forma objetiva, as respostas emocionais e cognitivas dos usuários durante a interação com os ambientes virtuais. A ausência de dados neurofisiológicos que complementem as avaliações subjetivas pode restringir a precisão da Análise e o entendimento dos efeitos das experiências imersivas (GEORGIEV et al., 2021).

Nesse cenário, a integração entre RV e Eletroencefalograma (EEG) apresenta-se como uma abordagem promissora. O EEG permite o monitoramento não invasivo da atividade elétrica cerebral, fornecendo informações sobre estados emocionais, níveis de atenção e carga cognitiva. Diferentes padrões de ondas cerebrais — como alfa, beta e teta — estão associados a estados específicos, como relaxamento, alerta e processamento cognitivo (WANG et al.,

2023). A análise dessas características possibilita inferir respostas emocionais dos usuários durante a interação com ambientes virtuais.

Além de ampliar a compreensão das respostas neurofisiológicas, essa integração pode contribuir para o desenvolvimento de abordagens mais fundamentadas em dados objetivos. Aplicações potenciais incluem reabilitação neurofuncional, apoio ao tratamento de transtornos psicológicos, controle da dor e educação em saúde (XU et al., 2021). Adicionalmente, o uso de ambientes virtuais pode favorecer um maior engajamento dos usuários, melhorar a adesão a protocolos terapêuticos e possibilitar o acompanhamento da evolução ao longo do tempo.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar sinais de EEG associados à exposição a diferentes cenários de RV, buscando identificar padrões relacionados aos estados emocionais dos participantes. Pretende-se compreender como esses sinais podem contribuir para a análise das respostas emocionais em ambientes imersivos, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de futuras aplicações mais personalizadas e baseadas em evidências neurofisiológicas.

1.1 Objetivos

Neste capítulo, são apresentados os objetivos desta pesquisa, que orientam a investigação proposta. Inicialmente, define-se o objetivo geral, voltado à análise do uso da RV e da EEG no monitoramento de estados emocionais em contextos experimentais. Em seguida, são descritos os objetivos específicos, que detalham as etapas do estudo, incluindo o desenvolvimento do ambiente virtual, a aquisição e o processamento dos sinais eletroencefalográficos, bem como a análise dos dados para identificação de padrões emocionais.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar sinais eletroencefalográficos coletados durante a exposição de indivíduos a ambientes de RV, investigando a relação entre padrões neurais e diferentes estados emocionais induzidos pelos estímulos virtuais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um ambiente virtual imersivo com estímulos visuais e auditivos voltados à indução de estados emocionais, utilizando a plataforma Unity.

- Integrar o ambiente de RV a um sistema de aquisição de sinais eletroencefalográficos, possibilitando a coleta de dados neurofisiológicos durante a exposição aos cenários virtuais.
- Realizar o pré-processamento dos sinais de EEG, incluindo filtragem, remoção de artefatos e preparação dos dados para análise.
- Extrair características relevantes dos sinais eletroencefalográficos, considerando aspectos espectrais associados às bandas de frequência cerebrais.
- Investigar variações nos padrões neurofisiológicos associadas a diferentes estados emocionais a partir da análise dos sinais de EEG processados.
- Avaliar os estados emocionais dos participantes com base na análise dos sinais de EEG e em dados complementares, como questionários psicométricos.
- Analisar os resultados obtidos, buscando identificar padrões consistentes entre os estímulos apresentados e as respostas emocionais observadas

1.2 Problematização

O avanço das tecnologias imersivas, como a RV, tem ampliado as possibilidades de investigação do comportamento humano em contextos controlados. Em paralelo, a EEG tem sido amplamente utilizada como ferramenta para o monitoramento da atividade cerebral, permitindo a análise de estados cognitivos e emocionais a partir de sinais neurofisiológicos. Apesar do crescimento de estudos que exploram a integração entre RV e EEG, ainda existem desafios relacionados à identificação e interpretação de padrões emocionais a partir desses dados, especialmente em contextos experimentais controlados. A variabilidade dos sinais de EEG, associada à complexidade das respostas emocionais humanas, dificulta a identificação de padrões neurofisiológicos consistentes relacionados aos estímulos apresentados em ambientes virtuais. Além disso, fatores como ruídos, artefatos e diferenças individuais entre os participantes tornam a análise dos dados ainda mais desafiadora. Diante disso, coloca-se a seguinte questão de pesquisa:

Como os sinais eletroencefalográficos coletados durante a exposição a ambientes de RV podem ser utilizados para a análise de padrões associados a diferentes estados emocionais?

1.3 Justificativa

Os transtornos mentais, como depressão, ansiedade e transtorno de estresse pós-traumático, estão diretamente associados a alterações nos processos de regulação emocional, constituindo um importante problema de saúde pública. Nesse contexto, a compreensão dos estados emocionais por meio de abordagens baseadas em dados fisiológicos representa uma área de crescente interesse científico. (ETKIN; BUCHEL; GROSS, 2015).

A integração entre RV e EEG oferece uma oportunidade relevante para o estudo das emoções em ambientes controlados, permitindo a exposição dos indivíduos a estímulos específicos e o registro simultâneo de suas respostas neurofisiológicas. Essa combinação possibilita a investigação da relação entre estímulos imersivos e padrões de atividade cerebral, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos estados emocionais (WIEDERHOLD; RIVA, 2019).

Dessa forma, este trabalho se justifica pela necessidade de desenvolver e aplicar abordagens que permitam analisar sinais de EEG em contextos de RV, contribuindo para o avanço das pesquisas na área de monitoramento emocional e fornecendo subsídios para estudos futuros voltados à aplicação dessas tecnologias na saúde mental.

1.4 Estrutura do Documento

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos principais, organizados de forma a apresentar, de maneira sistemática, a integração entre RV e EEG no monitoramento emocional aplicado à saúde mental.

No Capítulo 2, Referencial Teórico, são discutidos os fundamentos e as aplicações da RV, os conceitos de imersão e presença, bem como sua capacidade de induzir e captar respostas emocionais. Também são abordados aspectos do cérebro humano, com ênfase em suas estruturas e funções relacionadas ao processamento emocional. Em seguida, o EEG é explorado de forma detalhada, contemplando a análise de estados afetivos, os principais ritmos cerebrais, técnicas de aquisição e processamento de sinais, além de sua integração com ambientes de RV. O capítulo ainda apresenta ferramentas e abordagens computacionais utilizadas no estudo, como a plataforma Unity, métodos de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina, bem como sistemas de feedback e monitoramento. Por fim, são discutidos os principais transtornos psicológicos relacionados ao contexto da pesquisa.

O capítulo 3 apresenta Trabalhos Relacionados, reunindo pesquisas e estudos prévios que fundamentam e contextualizam a investigação.

No capítulo 4, Metodologia, são detalhados os critérios de seleção dos participantes, procedimentos de coleta, estudo das tecnologias utilizadas, instrumentação e cenário virtual, aquisição de sinais de EEG, análise de dados, criação de banco de dados e cuidados éticos relacionados à privacidade das informações.

Os capítulos 5 e 6 apresentam, respectivamente, os Resultados e Discussão e a Conclusão do estudo, oferecendo uma síntese das contribuições esperadas e considerações finais sobre o uso de RV e EEG para monitoramento emocional na saúde mental. Por fim, o trabalho é finalizado com a seção de Referências, que reúne todas as fontes utilizadas na elaboração do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais, organizados como referencial teórico. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os distúrbios psicológicos e os tratamentos baseados em aplicações de RV. Serão abordadas as principais teorias sobre a origem e caracterização dessas doenças, bem como as abordagens terapêuticas associadas.

2.1 Realidade virtual

A RV é uma tecnologia computacional que possibilita a criação de ambientes digitais tridimensionais com os quais o usuário pode interagir de forma imersiva. Esses ambientes são projetados para simular cenários realistas ou abstratos, permitindo ao usuário experimentar sensações visuais, auditivas e, em alguns casos, táteis, que se aproximam da percepção do mundo físico (JERALD, 2015; SLATER; SANCHEZ-VIVES, 2016).

A experiência em RV é mediada, principalmente, por dispositivos como os *Head-Mounted Displays* (HMDs), que exibem imagens estereoscópicas e realizam o rastreamento dos movimentos da cabeça do usuário. Esse rastreamento permite a atualização dinâmica do campo de visão, contribuindo para a sensação de imersão e presença no ambiente virtual. Além disso, sensores de movimento e dispositivos de interação ampliam a capacidade de engajamento do usuário com o ambiente, tornando a experiência mais natural e responsiva (JERALD, 2015).

Um dos conceitos centrais na RV é o de presença, definido como a sensação subjetiva de “estar” no ambiente virtual, mesmo sabendo que se trata de uma simulação. Esse fenômeno está diretamente relacionado ao nível de imersão proporcionado pelo sistema, que depende de fatores como qualidade gráfica, campo de visão, latência e correspondência entre os movimentos do usuário e sua representação no ambiente virtual (SLATER; WILBUR, 1997). Quanto maior a sensação de presença, maior a probabilidade de o usuário responder ao ambiente virtual de forma semelhante ao mundo real.

No contexto científico, a RV apresenta uma vantagem significativa ao permitir o controle preciso e a padronização dos estímulos apresentados aos participantes. Diferentemente de ambientes reais, nos quais variáveis externas podem interferir nos resultados, a RV possibilita a criação de cenários experimentais replicáveis, nos quais estímulos visuais e auditivos podem ser manipulados de forma sistemática. Essa característica torna a tecnologia particularmente adequada para estudos que investigam processos cognitivos e emocionais

(RIVA; WIEDERHOLD; MANTOVANI, 2019).

Além disso, a RV tem sido amplamente utilizada como ferramenta para indução emocional em pesquisas experimentais. Ambientes virtuais podem ser projetados para evocar diferentes estados emocionais, como relaxamento, medo ou excitação, permitindo a análise das respostas dos indivíduos a estímulos controlados. Essa abordagem tem sido empregada em estudos que combinam RV com sensores fisiológicos, como EEG, com o objetivo de investigar a relação entre estímulos imersivos e respostas neurofisiológicas (MÁRIN-MORALES et al., 2018).

Outro aspecto relevante é a capacidade da RV de integrar múltiplas modalidades sensoriais, o que contribui para uma experiência mais rica e envolvente. A combinação de estímulos visuais, auditivos e interativos aumenta o nível de engajamento do usuário e potencializa a resposta emocional, tornando os dados coletados mais representativos das reações humanas em situações reais (SLATER; SANCHEZ-VIVES, 2016).

Dessa forma, a RV configura-se como uma ferramenta robusta para a condução de experimentos controlados voltados à análise do comportamento humano, especialmente no estudo das emoções. Sua capacidade de simular cenários complexos de forma controlada e reproduzível a torna particularmente relevante para pesquisas que buscam correlacionar estímulos ambientais com respostas fisiológicas e cognitivas.

2.2 Imersão

A imersão é a intensidade com que um sistema de RV fornece estímulos aos nossos receptores, tendo o potencial de engajar o usuário na experiência virtual (JERALD, 2015). Segundo SLATER & WILBUR (1997), o grau de imersão está relacionado à capacidade do sistema de ser inclusivo, extensivo, circundante, vívido, correspondente e de apresentar um enredo. Esses aspectos são definidos da seguinte forma:

- **Inclusivo:** refere-se à extensão na qual o mundo físico é excluído da experiência;
- **Extensivo:** diz respeito à variedade de sensores acomodados, como sensores que captam movimento, rotação da cabeça, *feedback* e toque;
- **Circundante:** é a extensão na qual a RV oferece uma visão panorâmica, em vez de se limitar a um pequeno campo de visão;

- Vívido: refere-se à resolução, fidelidade, variedade de cores e energia simulada, além da qualidade da tela;
- Correspondente: diz respeito à correspondência entre os estímulos proprioceptivos do usuário (seus movimentos) e a reprodução desses movimentos no mundo virtual;
- Enredo: trata da história apresentada no sistema, que deve ser independente, ter sua própria dinâmica e apresentar uma sequência de eventos alternados.

Segundo JERALD (2015), enquanto a imersão está relacionada às características da tecnologia, a presença refere-se à sensação de estar imerso no mundo virtual, temporariamente esquecendo-se do mundo real e dos meios tecnológicos envolvidos na experiência. A presença pode ser considerada uma forma de ilusão, “uma vez que os estímulos de RV são apenas uma forma de energia projetada em nossos receptores” (JERALD, 2015). De acordo com SLATER & WILBUR (1997), quanto maior o grau de presença, maior a probabilidade de o usuário se comportar no ambiente virtual de maneira semelhante ao seu comportamento no mundo real. Além do mais, o grau de presença costuma ser avaliado de forma subjetiva e objetiva, combinando questionários, métricas de comportamento e, às vezes, medidas fisiológicas.

2.2.1 Emoções

O estudo das emoções abrange diversas áreas do conhecimento, mas definir claramente o que são as emoções não é uma tarefa simples. Como resultado, ainda não existe um consenso definitivo entre os pesquisadores sobre uma definição única e universal (SILVA *et al.*, 2021). No entanto, há um entendimento comum sobre a importância de investigar as emoções, uma vez que elas desempenham um papel crucial em modelos científicos que buscam explicar a mente e o comportamento humano (LERNER; KELTNER, 2000). Muitos estudiosos destacam que emoções básicas, como alegria, tristeza, raiva e medo, têm uma influência significativa nas experiências cotidianas. O comportamento, a tomada de decisões e até mesmo o pensamento de uma pessoa são fortemente moldados pelo seu estado emocional. As emoções podem ser vistas tanto como causas quanto efeitos de outros processos psicológicos e cognitivos, como percepção, atenção e memória (BARRETT, 2006).

Pesquisadores, influenciados por Darwin e pelos avanços na neurociência, sugerem que as emoções básicas são fenômenos neurofisiológicos que se desenvolveram ao longo do tempo por meio da seleção natural. As reações emocionais dos indivíduos a estímulos e situações

foram aprimoradas à medida que os seres humanos evoluíram (IZARD, 1992). Assim, uma emoção básica pode ser compreendida como um conjunto de respostas neurais, comportamentais e emocionais que ocorrem de forma automática e inconsciente em reação a um estímulo específico (IZARD, 2007).

2.2.2 Captura de emoções

A captura de emoções refere-se à técnica ou processo de monitoramento, medição e análise das respostas emocionais de um usuário enquanto ele está imerso em um ambiente de RV (RV). Esse tipo de captura é fundamental para melhorar a experiência do usuário e personalizar as interações com o ambiente virtual. A captura de emoções pode ser utilizada em diversas áreas, como entretenimento, saúde, educação e treinamento (MEDESHOVA; AMANTURLINA; SUMYANOVA, 2016). Os principais componentes da captura de emoções incluem:

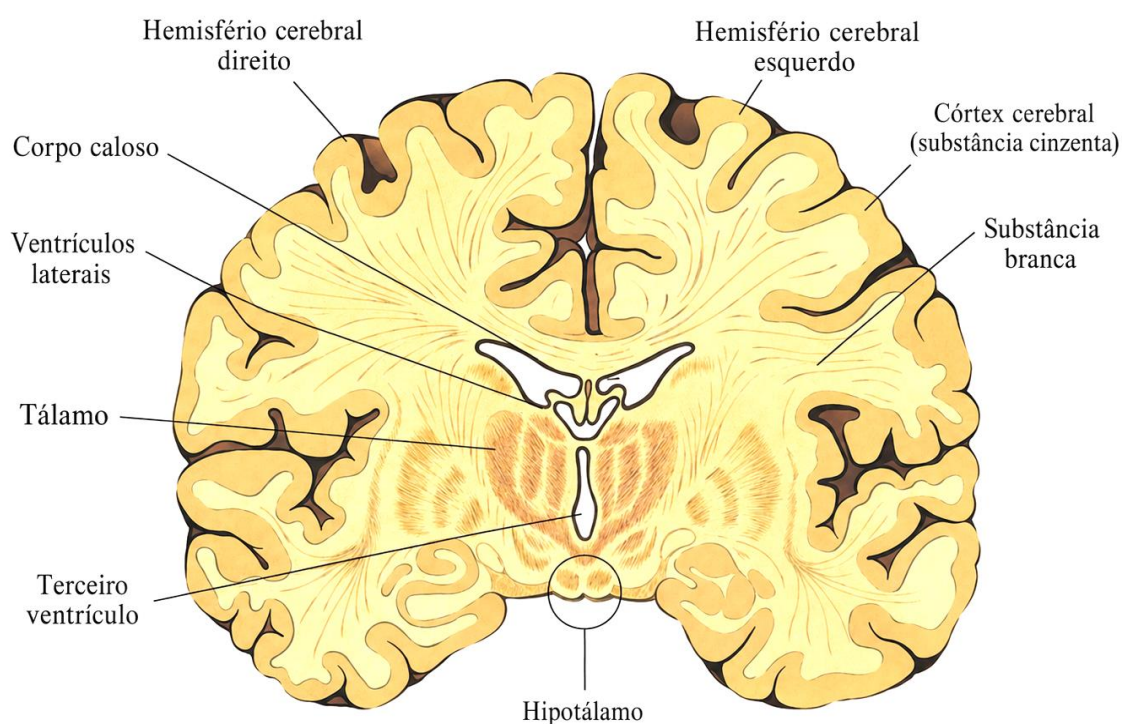
- **Sensores de Respostas Fisiológicas:** Sensores que monitoram mudanças no corpo do usuário, como a frequência cardíaca, a resposta galvânica da pele (GSR) e expressões faciais. Esses sensores são essenciais para compreender os estados emocionais do usuário enquanto ele interage com a RV (DZEDZICKIS *et al.*, 2020).
- **Reconhecimento Facial:** Algoritmos que analisam expressões faciais para identificar emoções como felicidade, raiva, tristeza ou surpresa. Este processo é realizado com o auxílio de câmeras e softwares especializados em análise facial.
- **Detecção de Movimento:** Dispositivos como luvas, fones de ouvido e rastreadores de movimento podem capturar como o usuário se movimenta no ambiente virtual. Essas ações podem ser correlacionadas com mudanças emocionais. Por exemplo, como uma pessoa interage com objetos virtuais pode indicar seu nível de conforto ou medo (DZEDZICKIS *et al.*, 2020).
- **feedback emocional baseado na análise posterior dos dados:** Em alguns sistemas de RV, a captura das emoções não é utilizada para adaptação automática do ambiente virtual, mas sim para análise posterior dos estados emocionais dos participantes, permitindo a identificação de padrões associados às interações com os cenários de RV.

2.3 Cérebro Humano

2.3.1 Estruturas e Funções Cerebrais

A Figura 2.1 apresenta a estrutura interna do cérebro humano. Observa-se a existência de dois hemisférios, direito e esquerdo, conectados por meio de uma estrutura denominada corpo caloso, situada na parte inferior da fissura inter-hemisférica. Ambos os hemisférios são recobertos externamente por uma fina camada de substância cinzenta, chamada de córtex cerebral, onde estão contidos os neurônios. Abaixo do córtex cerebral, existem feixes de axônios neurais que são recobertos por uma bainha de mielina, substância de aspecto gorduroso que isola a membrana celular e lhe confere uma coloração branca (ANDRADE *et al.*, 2019).

Figura 2.1 - Estrutura interna do cérebro.

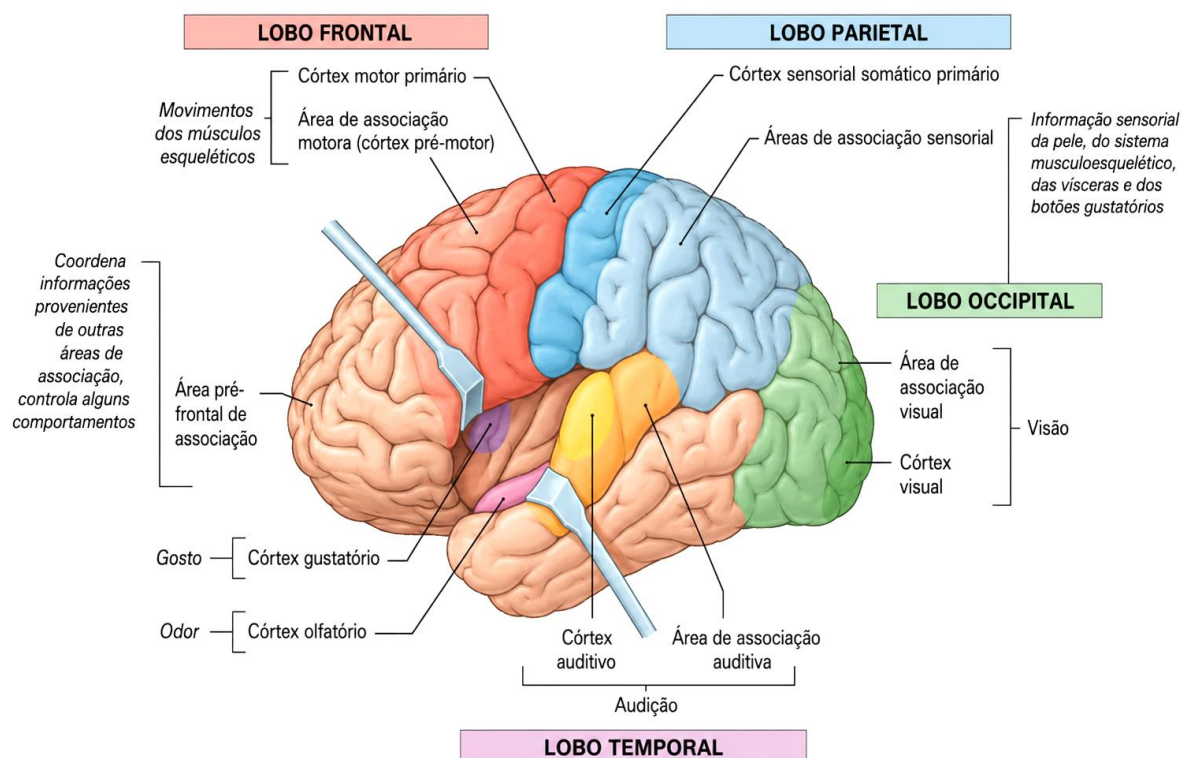


Fonte: adaptado de (Andrade 2019).

A Figura 2.2 ilustra os quatro lobos que constituem cada hemisfério. São eles: frontal, parietal, occipital e temporal. Cada um deles possui circunvoluções e dobras características, e está associado a funções específicas. O lobo frontal coordena movimentos dos músculos

esqueléticos e controla alguns comportamentos. O lobo parietal relaciona-se com as sensações de dor, tato, gustação, temperatura e pressão. O lobo occipital está relacionado com o processamento da informação visual. Finalmente, o lobo temporal relaciona-se com a audição e com o reconhecimento de tonalidades específicas e intensidades sonoras (ANDRADE *et al.*, 2019).

Figura 2.2 - Lobos do cérebro humano e suas funcionalidades.

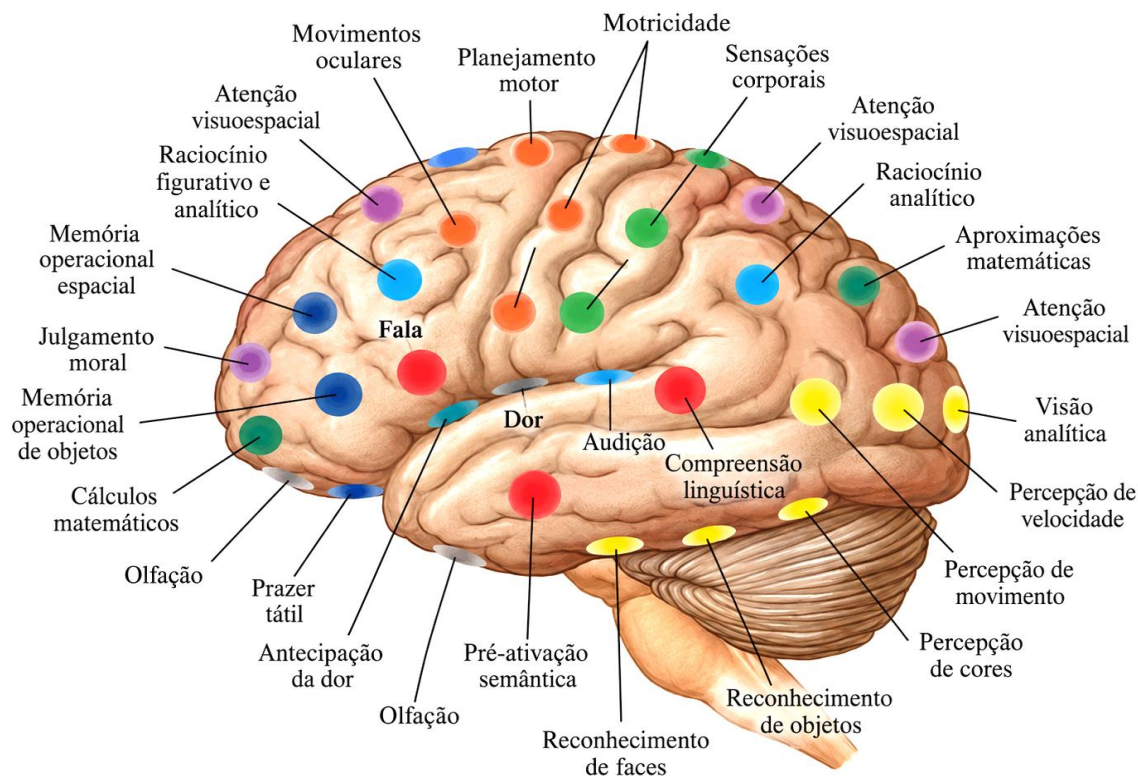


Fonte: Adaptado de (Andrade 2019).

A Figura 2.3 Apresenta um mapa funcional do cérebro, por meio do qual é possível observar funções cerebrais que são associadas a zonas cerebrais específicas, permitindo a identificação de áreas ativadas durante tarefas cognitivas, emocionais ou motoras, o que é essencial para pesquisas em neurociência e aplicações clínicas. Esses mapas são frequentemente obtidos por meio de técnicas como a EEG, que possibilitam acompanhar a atividade neural ao longo do experimento e com diferentes níveis de precisão espacial e temporal. Essas informações auxiliam no diagnóstico de doenças neurológicas, no planejamento de intervenções cirúrgicas

e no desenvolvimento de terapias baseadas em *neurofeedback* e estimulação cerebral. (ANDRADE *et al.*, 2019).

Figura 2.3 - Mapa funcional do cérebro.



Fonte: Adaptado de (Andrade 2019).

2.4 Eletroencefalograma

O EEG é uma tecnologia de monitoramento da atividade cerebral que pode ser integrada a ambientes virtuais, permitindo a captura contínua das ondas cerebrais durante a interação de um usuário enquanto ele interage com o ambiente digital. Por meio de eletrodos colocados no couro cabeludo, o EEG registra padrões elétricos do cérebro, como ondas alfa, beta, delta, teta e gama, que refletem diferentes estados mentais, como relaxamento, concentração ou estresse (SOUFINEYESTANI *et al.*, 2020). Esses padrões de ondas cerebrais podem influenciar a usabilidade da RV, permitindo que o ambiente virtual seja ajustado em resposta aos estados emocionais e cognitivos do usuário. Por exemplo, nas terapias de *neurofeedback*, a RV pode ser integrada para oferecer ambientes imersivos que respondem em tempo real à atividade cerebral do paciente.

Nessa abordagem, os sinais obtidos por EEG são analisados e utilizados para ajustar

elementos visuais, sonoros ou interativos do cenário virtual, de forma a reforçar estados mentais desejados. Assim, um paciente em tratamento para ansiedade pode ser imerso em um ambiente virtual tranquilo, no qual o som, a iluminação e as interações tornam-se mais suaves à medida que padrões cerebrais de relaxamento são detectados, fortalecendo o aprendizado autorregulatório. Da mesma forma, para fins de reabilitação cognitiva, jogos e desafios virtuais podem ser adaptados dinamicamente para manter o nível ideal de engajamento e estimular funções como atenção, memória e tomada de decisão. Essa personalização aumenta a eficácia terapêutica e torna o processo mais motivador e envolvente para o paciente. (LOTTE *et al.*, 2007; MÁRIN-MORALES *et al.*, 2018).

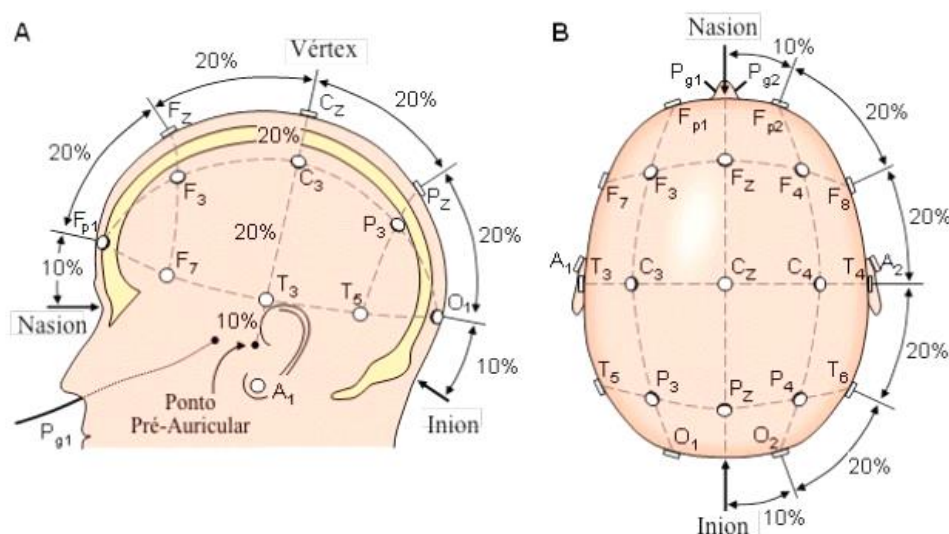
Esse tipo de interação tem aplicações significativas em áreas como treinamento cognitivo, reabilitação neurológica, gestão de estresse e entretenimento imersivo, potencializando a eficácia e a imersão do usuário ao alinhar os estímulos virtuais com suas respostas cerebrais (VIANA, 2019).

Por outro lado, os dispositivos de EEG permitem a medição de métricas emocionais, como valência e excitação, ao analisar os sinais cerebrais nas bandas de frequência delta, teta, alfa, beta e gama. Isso possibilita descrever o estado emotivo de um indivíduo (COSTA *et al.*, 2022). Assim, o uso de sinais de EEG na detecção e classificação de emoções, além de ser relevante para a interação humano-computador, pode proporcionar uma caracterização mais aprofundada do estado emocional (TORRES *et al.*, 2020)

A fim de se padronizar o posicionamento dos sensores no crânio humano durante um EEG, foi criado o Sistema Internacional 10-20. De acordo com este sistema, os eletrodos são posicionados na superfície do couro cabeludo, como mostra a Figura 2.4 (A) e (B). Os pontos de referência são: *Nasion*, que se localiza no topo do nariz, no mesmo nível dos olhos; e *Inion*, que se localiza na base do crânio. A partir destes pontos, os perímetros do crânio são medidos nos planos transversal e mediano. O posicionamento dos eletrodos é determinado pela divisão destes perímetros em intervalos de 10 e 20% (JASPER, 1958) (SEECK *et al.*, 2017).

O nome de cada eletrodo termina com um número ou letra que indica a distância até a linha média. Números ímpares são usados no hemisfério esquerdo e números pares no hemisfério direito. Números maiores indicam distâncias maiores da linha média, enquanto eletrodos posicionados na linha média são identificados com um "z" de zero. Por exemplo, Cz é posicionado sobre as regiões cerebrais centrais da linha média, Fp8 é posicionado sobre as regiões frontopolares direitas do cérebro e T7 é posicionado sobre as regiões temporais esquerdas (JASPER, 1958) (SEECK *et al.*, 2017).

Figura 2.4 - Sistema Internacional 10-20.



Fonte: (Sociedade Eletroencefalográfica Americana 1991).

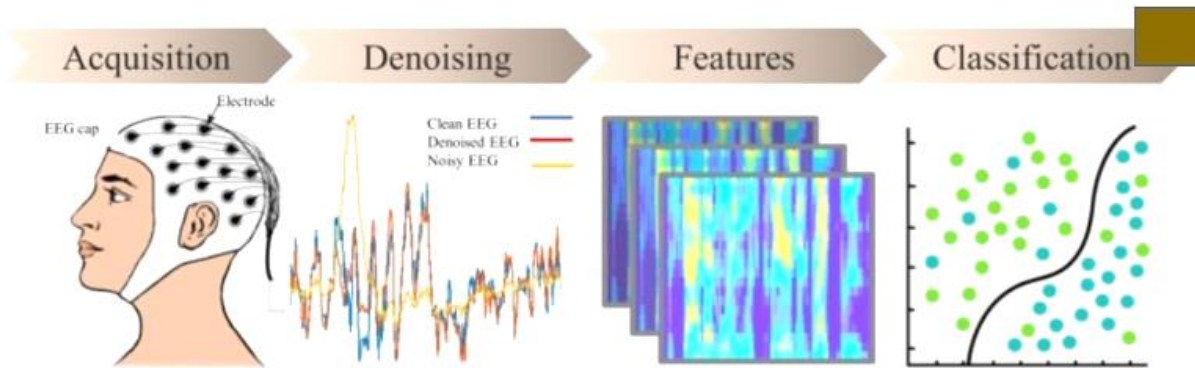
2.4.1 Análise de sentimentos utilizando EEG

A análise de sentimentos baseada em sinais de EEG tem sido amplamente aplicada no diagnóstico e tratamento de distúrbios psicológicos (GOODSPEED *et al.*, 2023). O EEG é um sinal fisiológico complexo, caracterizado por sua natureza contínua, variável no tempo e não estacionária, encapsulando uma ampla gama de informações nos domínios temporal, espacial e espectral. Antes da análise, o sinal de EEG passa por um pré-processamento para reduzir ruídos e remover artefatos. Em seguida, são aplicadas técnicas de extração de características para capturar informações relevantes nesses diferentes domínios. Algumas das metodologias utilizadas incluem a densidade espectral de potência (PSD) e a Entropia Diferencial (DE). Após essa etapa, modelos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo são empregados para treinar classificadores capazes de prever resultados com base nos sinais processados (RIVERA *et al.*, 2022).

A aplicação do EEG no tratamento de doenças mentais concentra-se, principalmente, na análise de emoções. Diversos conjuntos de dados públicos foram desenvolvidos para auxiliar na classificação emocional e no diagnóstico de distúrbios psicológicos. Um exemplo relevante é o uso de sensores de vídeo combinados com EEG em sistemas de diagnóstico auxiliados por computador (CAD), que já demonstraram resultados positivos na identificação de Transtorno de Estresse Pós-Traumático (KOELSTRA *et al.*, 2011) (ZHENG; Lu, 2015). A

análise de sinais de EEG envolve quatro etapas: aquisição, redução de ruído, engenharia de características e classificação como mostra a Figura 2.5

Figura 2.5 - Processo de análise de sinais de EEG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

2.4.2 Integração de sinais de EEG com tecnologia RV

A integração entre sinais de EEG e a tecnologia de RV tem sido amplamente investigada como uma abordagem promissora para o estudo das respostas emocionais em ambientes controlados. Enquanto o EEG possibilita a captura de dados neurofisiológicos de forma objetiva, a RV permite a criação de cenários imersivos capazes de induzir diferentes estados emocionais nos participantes. Nesse contexto, os sinais de EEG podem ser utilizados para a extração de características relevantes e análise de padrões associados a estados emocionais, contribuindo para uma melhor compreensão das respostas dos indivíduos aos estímulos apresentados em ambientes virtuais. Embora abordagens como a Terapia de Exposição à RV (VRET) tenham demonstrado eficácia em contextos clínicos, o presente estudo não realiza adaptações dinâmicas em tempo real, adotando uma abordagem baseada em processamento offline dos dados coletados (WANG *et al.*, 2023).

Dessa forma, a integração entre EEG e RV, neste trabalho, é utilizada para fins de análise e interpretação posterior, permitindo avaliar como diferentes cenários virtuais influenciam os estados emocionais dos participantes. Essa abordagem possibilita a identificação de padrões consistentes entre estímulos e respostas neurofisiológicas, contribuindo para o avanço de pesquisas na área de monitoramento emocional.

A utilização conjunta de EEG e RV oferece vantagens importantes no contexto experimental, tais como:

- Avaliação objetiva: os sinais de EEG fornecem informações quantitativas sobre a atividade cerebral associada a diferentes estados emocionais.
- Controle experimental: a RV permite a padronização dos estímulos apresentados aos participantes.
- Análise offline: os dados coletados podem ser processados posteriormente, possibilitando maior controle metodológico e precisão na interpretação dos resultados.
- Investigação de padrões emocionais: a combinação das tecnologias permite explorar relações entre estímulos virtuais e respostas neurofisiológicas.

Assim, a integração entre EEG e RV configura-se como uma ferramenta relevante para estudos experimentais em saúde mental, contribuindo para a compreensão dos mecanismos envolvidos nas respostas emocionais em ambientes imersivos.

2.4.3 Ondas Cerebrais

As ondas cerebrais correspondem à atividade elétrica do cérebro, podendo ser registradas por meio do EEG. A análise dessas oscilações é fundamental para a compreensão de processos cognitivos e emocionais, especialmente em contextos que envolvem interação com sistemas computacionais, como ambientes de RV. De modo geral, essas ondas são classificadas em diferentes bandas de frequência — delta, teta, alfa, beta e gama —, cada uma associada a distintos estados mentais e comportamentais (HARMONY, 2013).

Nos últimos anos, diversos estudos têm investigado a relação entre as bandas de frequência do EEG e os estados emocionais. Trabalhos como o de He et al. (2022) demonstram que a atividade na banda alfa está frequentemente associada a estados de relaxamento, enquanto a banda beta tende a refletir níveis mais elevados de atividade cognitiva e concentração. Essas Análises têm contribuído para o desenvolvimento de modelos capazes de identificar padrões emocionais a partir de sinais neurofisiológicos.

No contexto da RV, o uso do EEG tem sido explorado como uma ferramenta para avaliar a resposta dos usuários a estímulos imersivos. Estudos como o de Shoeibi et al. (2021) indicam que a análise das ondas cerebrais pode fornecer informações relevantes sobre estados de atenção, estresse e engajamento durante a interação com ambientes virtuais. Embora parte da

literatura proponha sistemas adaptativos baseados nessas respostas, o presente estudo adota uma abordagem centrada na análise posterior dos dados coletados, sem a implementação de ajustes dinâmicos durante a experiência.

Outras investigações, como a de Jiao et al. (2023) destacam o papel das ondas teta e delta na identificação de estados de relaxamento profundo e repouso, enquanto estudos como o de Tremmel et al. (2019) exploram a banda gama em tarefas relacionadas à atenção e ao processamento cognitivo. Esses achados reforçam a relevância das diferentes bandas de frequência na caracterização dos estados mentais.

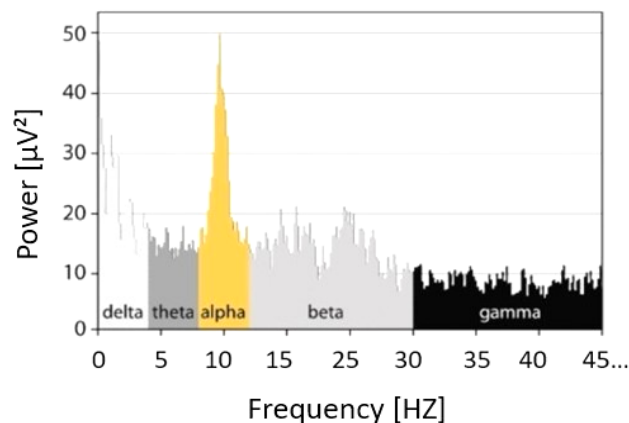
De forma geral, a análise das ondas cerebrais constitui uma abordagem promissora para o estudo das respostas emocionais e cognitivas em ambientes imersivos. Ao possibilitar a identificação de padrões associados a diferentes estados mentais, o EEG contribui para o avanço de pesquisas nas áreas de interação humano-computador, RV e neurociência aplicada.

Quadro 2.1 --Tipos de ondas, suas faixas de frequência e relações.

Onda	Frequência	Estado mental
Delta	0,5 - 4 Hz	Sono profundo, regeneração, recuperação física
Teta	4 - 8 Hz	Sono leve, meditação, criatividade, hipnose
Alfa	8 - 13 Hz	Relaxamento, repouso, estado de alerta tranquilo
Beta	13 - 30 Hz	Atividade mental intensa, foco, ansiedade
Gama	30 - 100 Hz	Alta atividade cognitiva, aprendizado, percepção intensa

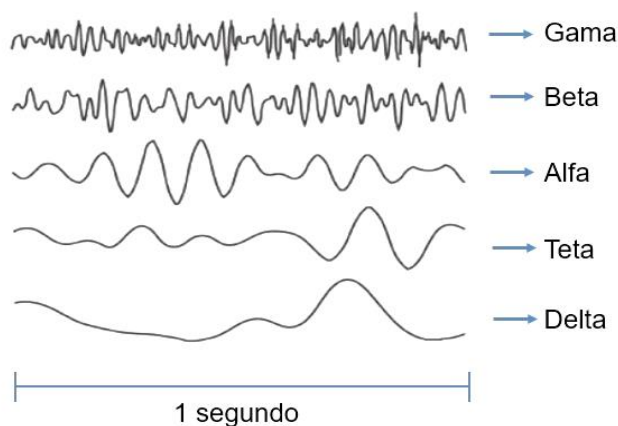
Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Niedermeyer e Silva (2005).

Figura 2.6 - Diagrama de análise de frequência e potência das ondas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 2.7- Frequências de ondas cerebrais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

2.4.4 Captura de Interações em Ambientes de RV

A captura de interações em ambientes de RV refere-se ao registro dos comportamentos e respostas do usuário durante a exposição a cenários imersivos. Esse processo é fundamental para compreender como os estímulos virtuais influenciam aspectos cognitivos e emocionais, especialmente em estudos que envolvem a análise de sinais neurofisiológicos, como o EEG (EEG) (SLATER; SANCHEZ-VIVES, 2016).

De modo geral, a interação do usuário com ambientes de RV envolve o rastreamento de movimentos corporais, orientação da cabeça e direção do olhar, permitindo uma navegação natural e imersiva no ambiente virtual. Esses dados são capturados por meio de sensores integrados aos dispositivos de RV, como headsets e controladores, possibilitando a reconstrução da experiência do usuário durante o experimento (MIMNAUGH et al., 2023).

Além disso, elementos auditivos desempenham um papel relevante na imersão, sendo utilizados para reforçar a sensação de presença no ambiente virtual. A espacialização do áudio permite que os estímulos sonoros sejam percebidos de acordo com sua posição relativa ao usuário, contribuindo para uma experiência mais realista (JERALD, 2015).

No contexto deste trabalho, a captura de interações não é utilizada para adaptação dinâmica do ambiente virtual, mas sim como suporte para a análise posterior das respostas dos participantes. Dessa forma, os dados obtidos durante a interação com o ambiente de RV são considerados em conjunto com os sinais de EEG, permitindo uma investigação mais abrangente das respostas emocionais induzidas pelos cenários apresentados.

As principais tecnologias envolvidas na captura de interações em RV incluem:

- Headsets de RV: responsáveis por rastrear a orientação e posição da cabeça do usuário.
- Controladores de movimento: utilizados para registrar interações com objetos virtuais.
- Sensores de rastreamento: empregados para monitorar a posição do usuário no espaço tridimensional.

Assim, a captura de interações em ambientes virtuais complementa a análise neurofisiológica, contribuindo para a compreensão das respostas comportamentais e emocionais dos participantes em estudos experimentais.

2.5 Unity

A Unity é uma plataforma amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações interativas em ambientes 2D e 3D, incluindo sistemas baseados em RV. Devido à sua flexibilidade, suporte a múltiplas plataformas e integração com diferentes dispositivos, tem sido adotada em pesquisas acadêmicas que envolvem a criação de cenários imersivos controlados (BUYUKSALIH *et al.*, 2017).

No contexto deste trabalho, a Unity foi utilizada como ferramenta para o desenvolvimento dos ambientes virtuais empregados nos experimentos. A plataforma possibilitou a construção de cenários imersivos, bem como a definição de interações e estímulos visuais e auditivos apresentados aos participantes. Além disso, o uso de scripts em C# permitiu controlar a lógica experimental, incluindo a apresentação dos estímulos e o gerenciamento das sessões de exposição.

Dessa forma, a Unity desempenha um papel fundamental na padronização dos estímulos apresentados, garantindo maior controle experimental e reprodutibilidade dos cenários utilizados na coleta de dados.

2.6 Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina em Realidade Virtual

A integração entre Inteligência Artificial (IA), Aprendizado de Máquina (*Machine Learning – ML*) e RV tem contribuído significativamente para o avanço de estudos voltados à análise do comportamento humano, especialmente no contexto do reconhecimento de estados emocionais. Nesse cenário, o uso de técnicas de ML possibilita a identificação de padrões em

dados fisiológicos, como sinais de EEG, permitindo inferir estados cognitivos e emocionais a partir de informações neurofisiológicas (ALVES, 2024).

No contexto deste trabalho, o Aprendizado de Máquina é empregado como ferramenta para análise dos dados coletados, sendo utilizado para extrair informações relevantes e realizar a classificação dos estados emocionais dos participantes. Diferentemente de abordagens que utilizam sistemas adaptativos em tempo real, este estudo adota uma estratégia baseada em processamento offline, na qual os dados são analisados após a coleta, possibilitando maior controle sobre as etapas de processamento e validação dos resultados.

Modelos de ML aplicados a sinais de EEG geralmente envolvem etapas como pré-processamento, extração de características e classificação. Técnicas como análise espectral, incluindo a densidade espectral de potência (PSD), são frequentemente utilizadas para representar as bandas de frequência do sinal. A partir dessas características, algoritmos de classificação podem ser treinados para identificar padrões associados a diferentes estados emocionais, como relaxamento, estresse ou atenção. (SAMPATH *et al.*, 2020).

A aplicação de IA e ML nesse contexto permite a construção de modelos capazes de relacionar estímulos apresentados em ambientes virtuais com respostas neurofisiológicas dos participantes. Dessa forma, torna-se possível investigar como diferentes cenários de RV influenciam os estados emocionais, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais eficazes de monitoramento emocional (SOLCA, 2015).

Embora a literatura apresente abordagens que integram múltiplas fontes de dados e adaptação dinâmica dos ambientes virtuais, o presente estudo concentra-se na análise baseada exclusivamente em sinais de EEG, sem a implementação de mecanismos de adaptação em tempo real. Essa escolha metodológica permite uma investigação mais controlada dos dados, favorecendo a interpretação dos resultados e a validação dos modelos utilizados.

Assim, a combinação entre IA, ML e RV configura-se como uma abordagem relevante para o estudo das emoções humanas, oferecendo suporte para a análise e interpretação de dados complexos em ambientes experimentais controlados (MISHRA *et al.*, 2021).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

No estudo de revisão conduzido por Zhang et al. (2024) foi realizada uma análise abrangente da literatura recente sobre a integração de sinais EEG com tecnologias de RV e Realidade aumentada RA, com foco no diagnóstico e tratamento de transtornos mentais. O objetivo central foi mapear o progresso dessas tecnologias em aplicações voltadas ao reconhecimento de emoções, às intervenções terapêuticas e ao desenvolvimento de ferramentas clínicas baseadas em interfaces cérebro computador (ZHANG et al., 2024).

Zhang et al. (2024) observaram que a combinação entre EEG e ambientes imersivos tem sido cada vez mais empregada para identificar com maior precisão os estados emocionais dos usuários e, com isso, ajustar intervenções cognitivas em tempo real. Essa abordagem tem se apoiado em conjuntos de dados consolidados, como DEAP, SEED e DENS, que fornecem registros padronizados para experimentos envolvendo a classificação de emoções por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais convolucionais (CNN), redes recorrentes do tipo LSTM (*Long Short-Term Memory*) e modelos baseados em transformers.

A base de dados DEAP é utilizada principalmente em estudos com dimensões emocionais contínuas (valência, excitação e dominância), enquanto a SEED foca na classificação discreta de emoções (positiva, negativa e neutra), permitindo também a análise de estabilidade interseção. A base de dados DENS, mais recente, busca maior realismo ao utilizar estímulos multimídia naturalísticos e permitir que os próprios participantes identifiquem momentos de emoção ("*emotional events*"), oferecendo uma visão mais localizada dos padrões neurais. (WANG et al., 2024).

A análise de sinais EEG nesses estudos envolve etapas como pré-processamento (remoção de artefatos e filtragem de bandas específicas) e extração de características, utilizando métodos como: Densidade espectral de potência (PSD), Transformada wavelet, Conectividade funcional (coerência, PLV), Mapas topográficos de ativação, Redes convolucionais (CNNs) para extração de padrões espaciais (ZHANG et al., 2024).

No campo do aprendizado de máquina e IA, diversos modelos têm sido aplicados à classificação de emoções:

- Redes neurais convolucionais (CNN): eficientes na captação de padrões espaciais do EEG.
- Redes neurais recorrentes LSTM (*Long Short-Term Memory*): aptas a modelar dependências temporais de longo prazo.

- Modelos híbridos CNN-LSTM: combinam análise espacial e temporal dos sinais.
- Transformers e redes *fuzzy*: exploradas mais recentemente para lidar com sequências complexas e promover interpretabilidade.

O estudo de Liao et al. (2024) investigou o reconhecimento automático de estados emocionais em ambientes de aprendizagem imersivos por meio da combinação de sinais de EEG e expressões faciais. A amostra foi composta por estudantes que participaram de sessões educacionais com conteúdos didáticos apresentados em ambientes tridimensionais virtuais. Os sinais cerebrais foram coletados com o *Emotiv EPOC*, que possui 14 canais de EEG, enquanto as expressões faciais foram capturadas por uma câmera acoplada ao headset de RV (LIAO *et al.*, 2024).

Na etapa de processamento dos sinais, os autores aplicaram segmentação em janelas temporais, filtragem passa-banda entre 1–50 Hz e remoção de artefatos por Análise de Componentes Independentes (ICA). A extração de características do EEG baseou-se em métricas de potência relativa nas bandas theta (4–8 Hz), alfa (8–13 Hz), beta (13–30 Hz) e gama (30–50 Hz), bem como medidas de coerência entre pares de canais, com o objetivo de quantificar padrões oscilatórios e conectividade funcional. Paralelamente, as expressões faciais foram analisadas por uma rede neural convolucional (CNN) treinada para detectar microexpressões relacionadas aos estados emocionais alvo (LIAO *et al.*, 2024).

Os dois conjuntos de dados (EEG e facial) foram integrados por meio de uma arquitetura multimodal com fusão tardia (*late fusion*), na qual as saídas das redes de cada modalidade foram combinadas após a extração de características, permitindo o aprendizado conjunto. A classificação foi baseada nos eixos de valência e excitação (modelo dimensional), com mapeamento dos dados em três categorias emocionais: foco, frustração e tédio. O modelo foi avaliado por validação cruzada *leave one subject out*, atingindo acurácia média de 91,6%. O estudo concluiu que a combinação de EEG e expressões faciais pode ser empregada em sistemas adaptativos de monitoramento emocional contínuo em ambientes educacionais interativos (LIAO *et al.*, 2024).

Lee et al. (2024) desenvolveram um sistema de reconhecimento emocional com foco na viabilidade de implementação em contextos com restrições tecnológicas, como ambientes educacionais com acesso limitado a recursos computacionais. O experimento utilizou o *Emotiv Insight*, um dispositivo de EEG portátil com cinco canais (AF3, AF4, T7, T8 e Pz), para registrar os sinais cerebrais durante a execução de tarefas projetadas para induzir quatro estados emocionais distintos: excitação, tédio, confusão e concentração (LEE *et al.*, 2024).

Na aquisição dos dados, a taxa de amostragem foi 128 Hz, com filtragem passa-banda entre 0,5–45 Hz e normalização individual. Os dados foram segmentados em janelas de dois segundos, com sobreposição de 50%, ampliando o conjunto para o treinamento supervisionado. A extração de características contemplou entropia diferencial (DEn), potência relativa nas bandas alfa, beta e theta, além de coerência espectral entre pares de eletrodos, refletindo complexidade, ativação cortical e conectividade.

Os vetores de características foram utilizados como entrada para três algoritmos de aprendizado de máquina: *Random Forest* (RF), *Gradient Boosted Trees* (GBT) e *Multi-Layer Perceptron* (MLP) com uma camada oculta. A validação dos modelos foi conduzida com validação cruzada k-fold ($k = 10$), garantindo avaliação robusta da generalização dos classificadores. A maior acurácia média obtida foi de 85,2%, indicando que mesmo com sensores de baixa densidade é possível realizar inferência emocional confiável. Os autores sugerem aplicações práticas para o sistema em contextos educacionais, como avaliação do engajamento e atenção de estudantes, ou em contextos terapêuticos com *biofeedback* (LEE *et al.*, 2024).

No estudo conduzido no laboratório avançado da North China University of Technology, em 2024, foi proposto o DSRP (*Database for Stress Reduction using Physiological Signals*), uma base de dados construída com o objetivo de apoiar a análise da redução do estresse por meio de estímulos imersivos em RV combinados à coleta de sinais fisiológicos. O experimento contou com 15 participantes selecionados segundo critérios de elegibilidade rigorosos, incluindo ausência de doenças graves no couro cabeludo, resistência física adequada, estabilidade emocional, além da não apresentação de deficiência visual ou vertigem associada a ambientes tridimensionais. A coleta de dados ocorreu em ambiente controlado, com temperatura estável, e os participantes foram orientados a manter o foco, reduzir movimentos e seguir um protocolo padronizado durante a sessão (LI *et al.*, 2024).

Durante o experimento, foram utilizadas cenas de RV compostas por imagens extraídas de bibliotecas internacionais de estímulos emocionais, organizadas com base em critérios relacionados à valência emocional, cor, brilho, familiaridade, reconhecimento e potencial evocativo. A seleção priorizou imagens com alta pontuação de agradabilidade e excitação, especialmente aquelas que continham paisagens naturais, animais e contextos sociais positivos. Para garantir diversidade e efetividade, a escolha das cenas foi feita de forma semiautomática, combinando métodos manuais e pontuações emocionais padronizadas. Cenas com animais como veado, elefante e zebra foram emparelhadas com diferentes ambientes (floresta, templo,

chuva, montanha nevada), permitindo avaliar a influência cruzada entre o tipo de conteúdo e o contexto ambiental (LI *et al.*, 2024).

A resposta emocional dos participantes foi avaliada por meio do instrumento *Self Assessment Manikin* (SAM), que mede as dimensões de prazer, excitação e dominância componentes do modelo PAD. Os registros emocionais foram coletados logo após a exposição a cada cena, enquanto sinais EEG foram capturados usando uma touca *Neuroscan*, acompanhados de medidas de frequência cardíaca e pressão arterial. O experimento teve duração aproximada de 90 minutos por participante.

A análise estatística dos dados revelou padrões emocionais distintos de acordo com a combinação de ambiente e conteúdo; por exemplo, cenas com cervos em paisagens nevadas obtiveram pontuações elevadas de prazer e excitação, enquanto cenas em templos apresentaram níveis inferiores de dominância e excitação. A partir desses resultados, foi possível identificar padrões emocionais úteis para aplicações futuras em sistemas de reconhecimento e modulação do estresse baseados em inteligência artificial. O modelo VAD (valência, ativação, dominância) foi utilizado para rotulagem durante a modelagem computacional. O DSRP representa um recurso relevante para estudos de *biofeedback*, desenvolvimento de sistemas personalizados de relaxamento e intervenções clínicas voltadas a transtornos de ansiedade e estresse crônico. Como resultado, observou-se uma redução significativa nos níveis de estresse relatados e detectados fisiologicamente após a exposição às cenas positivas em RV. O cruzamento dos dados subjetivos (SAM/PAD) com os sinais EEG indicou padrões coerentes de relaxamento e aumento do bem estar, reforçando o potencial terapêutico da abordagem (LI *et al.*, 2024).

O estudo de Rivera (2022) conduziu um mapeamento sistemático sobre o uso de sinais de EEG combinados com técnicas de aprendizado profundo para o diagnóstico e prognóstico de transtornos mentais. A pesquisa analisou 72 estudos publicados entre 2010 e 2020, com foco em aplicações de redes neurais profundas na identificação de padrões cerebrais associados a condições como depressão, esquizofrenia, transtorno bipolar e transtornos de ansiedade. Os estudos revisados utilizaram diversas abordagens de processamento de sinais de EEG, incluindo transformers de Fourier e wavelet para extração de características, além de técnicas de redução de dimensionalidade como a análise de componentes principais (PCA). As arquiteturas de redes neurais mais empregadas foram as redes neurais convolucionais (CNN) e as redes neurais recorrentes (RNN), destacando-se pela capacidade de modelar sequências temporais e padrões espaciais dos sinais cerebrais (RIVERA *et al.*, 2022).

Em relação à classificação de estados emocionais, os trabalhos analisados demonstraram que modelos de aprendizado profundo podem identificar emoções discretas a partir de sinais de EEG, utilizando conjuntos de dados rotulados com base em modelos como o PAD (Prazer, Excitação e Dominância). Essas aplicações visam não apenas o diagnóstico, mas também o monitoramento em tempo real de estados emocionais, com potencial para integração em sistemas de *biofeedback* e ambientes de RV voltados à saúde mental. O estudo também observou que, embora haja avanços significativos na aplicação de *deep learning* para análise de EEG, desafios persistem, como a necessidade de grandes volumes de dados rotulados e a padronização de protocolos de coleta e processamento de sinais (RIVERA *et al.*, 2022).

A integração de técnicas de aprendizado profundo com dispositivos de RV e aumentada foi apontada como uma tendência emergente, visando intervenções mais imersivas e personalizadas no tratamento de transtornos mentais. Em síntese, o trabalho fornece uma visão abrangente das aplicações de aprendizado profundo na análise de EEG para diagnóstico e prognóstico de distúrbios mentais, destacando o potencial dessas tecnologias na identificação de estados emocionais e na implementação de intervenções terapêuticas inovadoras (RIVERA *et al.*, 2022).

No estudo conduzido pela Universidade de Cambridge, em 2019, investigou o uso da RV como ferramenta terapêutica para pacientes com Transtorno de Ansiedade Social (TAS) generalizado. Participaram quinze indivíduos, com idades entre 18 e 65 anos, todos com escores elevados na Escala de Ansiedade de Interação Social (acima de 25 pontos). Foram excluídos aqueles com QI (Quociente de Inteligência) abaixo de 70, condições neurológicas ou comorbidades psiquiátricas graves, como dependência química, que poderiam comprometer a adesão ao protocolo. Durante a intervenção, os pacientes foram imersos em ambientes virtuais variados como ruas, cafés, supermercados e transportes públicos utilizando um headset de RV (Sony HMZ-T1) e um joystick para movimentação. O diferencial do estudo esteve na personalização dos cenários: os terapeutas podiam ajustar o número e o comportamento dos avatares, a etnia e o gênero dos personagens, além de elementos auditivos como risadas ou sirenes, aumentando ou reduzindo a complexidade dos estímulos conforme a evolução terapêutica do paciente. Antes de cada exercício, havia consenso entre o terapeuta e o paciente sobre os parâmetros da exposição (GERAETS *et al.*, 2019).

A partir da terceira sessão, os pacientes realizaram imersões de 40 minutos, com foco em desafiar crenças disfuncionais, promover comportamentos de aproximação e fornecer

feedback sobre suas cognições. Estratégias complementares, como psicoeducação e reestruturação cognitiva, também foram incorporadas. A intervenção era considerada concluída antes da 16ª sessão caso os objetivos terapêuticos fossem atingidos sem provocar sofrimento excessivo (GERAETS *et al.*, 2019).

De maneira inovadora, o estudo integrou o uso de sinais de EEG à experiência em RV. Os dados eletrofisiológicos foram utilizados para monitorar a atividade cerebral dos participantes, permitindo a análise das reações cognitivas e emocionais durante a exposição. Essa integração possibilitou uma adaptação ainda mais precisa dos ambientes virtuais, com base na detecção de padrões neurais associados à ansiedade ou à ativação emocional intensa. Os resultados mostraram uma redução significativa na ansiedade de interação social, além de queda nos escores de depressão e melhora na qualidade de vida. No entanto, não foram observadas mudanças expressivas em relação à ideação persecutória ou ideias de referência social. Apesar das limitações como o pequeno tamanho da amostra, a limitação nas interações verbais durante as sessões e a natureza exploratória da análise estatística o estudo apresenta um avanço promissor (GERAETS *et al.*, 2019).

No estudo NeuroReality (2019), realizado na Paraíba, foi desenvolvida uma plataforma inovadora que integra EEG e RV para auxiliar na criação, controle e análise de tarefas experimentais. O objetivo do sistema foi proporcionar um ambiente virtual controlado e imersivo, permitindo a captação e interpretação precisa dos sinais cerebrais dos usuários. Dessa forma, permitiu-se investigar com mais detalhes suas reações cognitivas e emocionais em diferentes cenários simulados (ANDRADE *et al.*, 2019).

A ferramenta possibilitou a configuração personalizada de ambientes virtuais interativos, nos quais os participantes eram expostos a diversos estímulos enquanto sua atividade cerebral era monitorada em tempo real por meio do EEG. Os sinais de EEG foram adquiridos com eletrodos posicionados de acordo com o sistema 10-20 internacional e submetidos a um processo de pré-processamento que incluía remoção de ruídos, filtragem de frequências (como bandas alfa, beta e teta), e correção de artefatos. Em seguida, as características foram extraídas utilizando métodos no domínio do tempo e da frequência, como energia da banda, potência espectral e entropia. Essas características foram então utilizadas como entrada para algoritmos de classificação baseados em aprendizado de máquina, como Redes Neurais Artificiais (RNA) e Máquinas de Vetores de Suporte (SVM), com o objetivo de identificar padrões associados a diferentes estados emocionais (ANDRADE *et al.*, 2019).

No contexto da RV, os ambientes foram desenvolvidos com controle total sobre os estímulos visuais e auditivos, o que permitiu criar experiências imersivas padronizadas. A sincronização entre a exposição aos estímulos virtuais e a captação dos sinais de EEG possibilitou Análise em tempo real, permitindo a correlação direta entre eventos no ambiente virtual e as respostas cerebrais. Dessa forma, foi possível mapear variações emocionais conforme os elementos interativos do cenário, como mudanças de cor, sons, movimentos ou narrativa visual. Os dados obtidos permitiram não apenas a classificação de emoções discretas (como alegria, medo, surpresa), mas também Análise baseadas em modelos contínuos, como o PAD (Prazer, Excitação, Dominância). Essa abordagem possibilitou uma interpretação mais refinada das respostas emocionais durante a navegação pelos ambientes virtuais, com aplicações relevantes para intervenções terapêuticas, neuroreabilitação, treinamento cognitivo e adaptação de conteúdos virtuais com base no estado emocional do usuário (ANDRADE *et al.*, 2019).

O estudo de Simão (2017) investigou a viabilidade da classificação de emoções discretas a partir de sinais de EEG, com o objetivo de correlacionar os sinais cerebrais ao modelo emocional PAD (Prazer, Excitação e Dominância). Para isso, foi utilizada a base de dados DEAP, a qual contém registros de EEG e avaliações emocionais obtidas a partir da exposição de participantes a estímulos audiovisuais. As emoções foram rotuladas com base na percepção subjetiva dos indivíduos em escalas contínuas de prazer, excitação e dominância, permitindo a categorização em estados emocionais como alegria, tristeza, raiva, medo, entre outros (SIMÃO, 2017).

Com base nesses dados, foram aplicadas diversas técnicas de aprendizado de máquina, entre elas, Redes Neurais Artificiais (RNA), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) e Florestas Aleatórias. Essas técnicas de inteligência artificial foram empregadas para identificar padrões neuronais associados a diferentes emoções, buscando mapear os sinais elétricos cerebrais a estados emocionais específicos. As abordagens foram combinadas a métodos de balanceamento de dados, como o SMOTE (*Synthetic Minority Oversampling Technique* - Técnica de Sobreamostragem de Minoria Sintética) e o ADASYN (*Adaptive Synthetic Sampling* - Amostragem Sintética Adaptativa), com o objetivo de corrigir o desbalanceamento entre as classes emocionais e garantir a representatividade de emoções menos frequentes no conjunto de dados (SIMÃO, 2017).

Além disso, a extração de características foi realizada com base nos parâmetros de Hjorth, que medem aspectos como mobilidade, complexidade e atividade dos sinais de EEG.

Em seguida, aplicou-se o algoritmo PCA (Análise de Componentes Principais) para a redução da dimensionalidade dos dados, mantendo as variáveis mais relevantes para a classificação emocional. Essa etapa foi fundamental para melhorar a performance dos algoritmos de aprendizado de máquina e reduzir o risco de *overfitting* (sobreajuste). Como resultado, os melhores desempenhos foram obtidos com o uso das Florestas Aleatórias associadas ao método de balanceamento ADASYN, alcançando uma acurácia média de 89,22% na classificação das emoções. Dessa forma, a pesquisa evidencia o potencial dos sinais de EEG na detecção e discriminação de estados emocionais discretos, oferecendo contribuições relevantes para o desenvolvimento de soluções em saúde mental, como sistemas de *biofeedback*, diagnósticos assistidos por IA e intervenções imersivas com RV voltadas ao tratamento de distúrbios psicológicos (SIMÃO, 2017).

No estudo de Rizzo e Koenig (2017), foi investigada a aplicação clínica da RV no tratamento de transtornos mentais, com ênfase no Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPT). A tecnologia de RV foi empregada para criar simulações realistas de ambientes traumáticos como cenários de combate que permitissem aos pacientes reviverem suas experiências em um ambiente seguro, controlado e gradualmente ajustável. Essa abordagem possibilita uma exposição terapêutica progressiva, na qual os estímulos são adaptados conforme a resposta emocional do paciente.

De forma inovadora, o estudo incorporou sinais fisiológicos em tempo real para personalizar a intensidade da exposição. Além da frequência cardíaca e da condutância da pele, foram utilizados sinais de EEG integrados à experiência de RV, permitindo o monitoramento contínuo da atividade cerebral durante as sessões. Esse recurso ampliou a compreensão das respostas neurais dos pacientes frente aos estímulos virtuais, oferecendo dados objetivos sobre estados como medo, ansiedade e ativação cognitiva (RIZZO; KOENIG *et al.*, 2017).

Através de algoritmos computacionais avançados, os dados captados pelos sensores incluindo os sinais EEG foram processados em tempo real para ajustar automaticamente o conteúdo da simulação. Por exemplo, ao detectar aumento na ativação cerebral em regiões associadas ao estresse, o sistema poderia reduzir a intensidade do ambiente, tornando a exposição mais tolerável. Por outro lado, em momentos de maior estabilidade emocional, o cenário poderia ser gradualmente intensificado para avançar no processo terapêutico (RIZZO; KOENIG *et al.*, 2017).

3.1 Síntese dos trabalhos relacionados e contribuição da proposta

A análise dos trabalhos relacionados evidencia que a integração entre Realidade Virtual (RV) e Eletroencefalografia (EEG) tem apresentado resultados promissores em aplicações voltadas ao reconhecimento de emoções, biofeedback, treinamento cognitivo e tratamento de transtornos mentais. Entretanto, observa-se que a maior parte dos estudos se concentra no desenvolvimento de modelos computacionais para classificação emocional utilizando bases de dados públicas, como DEAP e SEED, ou em sistemas adaptativos capazes de modificar o ambiente virtual em tempo real a partir dos estados emocionais detectados.

Embora esses trabalhos demonstrem o potencial da combinação entre RV e EEG, ainda existem desafios relacionados à utilização de equipamentos de menor custo e menor número de canais, bem como à criação de protocolos experimentais padronizados para aquisição de sinais em ambientes imersivos destinados ao monitoramento emocional.

Neste contexto, a proposta desta pesquisa diferencia-se por desenvolver uma metodologia experimental voltada ao monitoramento emocional durante a exposição de participantes a um ambiente virtual natural, utilizando um sistema de EEG de 16 canais integrado a um cenário desenvolvido na plataforma Unity. Diferentemente de trabalhos cujo foco está na adaptação dinâmica do ambiente ou exclusivamente na classificação automática das emoções, esta pesquisa concentra-se na construção de um protocolo controlado para aquisição, organização e análise dos sinais eletroencefalográficos obtidos durante a experiência imersiva.

Além disso, a pesquisa utiliza inicialmente a base pública DEAP para validação das técnicas de processamento e classificação dos sinais, permitindo posteriormente a comparação com uma base própria construída durante os experimentos realizados em ambiente de Realidade Virtual. Espera-se, com isso, contribuir para a consolidação de metodologias de aquisição e análise de EEG aplicadas ao monitoramento emocional em ambientes imersivos, fornecendo subsídios para futuras aplicações em saúde mental, neurociência e sistemas inteligentes de apoio terapêutico.

Quadro 3.1 - Comparação dos trabalhos relacionados quanto aos objetivos, tecnologias empregadas e métodos de classificação.

Trabalho	EEG	RV	Emoções	Objetivo	Métodos de classificação
Zhang et al. (2024)	✓	✓	✓	Revisão sobre EEG e RV para saúde mental	CNN, LSTM, CNN-LSTM, Transformers e Redes Fuzzy
Liao et al. (2024)	✓	✓	✓	Reconhecimento emocional em ambiente educacional	CNN + Fusão Multimodal (Late Fusion)
Lee et al. (2024)	✓	✓	✓	Reconhecimento emocional com EEG portátil	Random Forest, Gradient Boosted Trees (GBT) e Multi-Layer Perceptron (MLP)
Li et al. (2024)	✓	✓	✓	Redução do estresse em RV	Modelo VAD/PAD para rotulagem emocional
Rivera et al. (2022)	✓	Parcial	✓	Revisão sobre Deep Learning aplicado ao EEG	CNN, RNN e técnicas de Deep Learning
Geraets et al. (2019)	✓	✓	✓	Terapia para ansiedade social	Monitoramento fisiológico; não propõe classificador específico
NeuroReality (Andrade et al., 2019)	✓	✓	✓	Plataforma integrada EEG-RV	SVM e Redes Neurais Artificiais (RNA)
Simão (2017)	✓	X	✓	Classificação de emoções utilizando DEAP	Random Forest, SVM e RNA, com SMOTE e ADASYN
Rizzo e Koenig (2017)	✓	✓	✓	Terapia para TEPT	Algoritmos adaptativos baseados em biofeedback em tempo real

Proposta deste trabalho	✓	✓	✓	Monitoramento emocional em ambiente virtual natural utilizando EEG de 16 canais	Validação inicial com DEAP e aplicação de técnicas de classificação de emoções sobre os sinais adquiridos experimentalmente
--------------------------------	---	---	---	---	---

Fonte: Elaborado pelo (Autor 2026).

4 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido com base na abordagem de Design Science Research (DSR), combinando revisão sistemática da literatura com uma etapa experimental voltada à análise de sinais eletroencefalográficos em ambientes de RV. O objetivo central consiste em investigar a relação entre padrões de atividade cerebral e estados emocionais durante experiências imersivas, utilizando processamento offline dos dados coletados.

A pesquisa adota uma abordagem experimental e quase-experimental, com delineamento misto, combinando métodos quantitativos e qualitativos. Está fundamentada na metodologia de *Design Science Research* (DSR), que orienta a criação, desenvolvimento e avaliação de artefatos inovadores voltados para a solução de problemas práticos, ao mesmo tempo em que gera conhecimento científico. No contexto deste estudo, a DSR guia tanto o desenvolvimento de um ambiente virtual integrado ao monitoramento por EEG, quanto a definição do experimento de coleta de dados (GALVÃO *et al.* 2024).

O processo de pesquisa está estruturado em duas etapas principais: (i) uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar lacunas e fundamentar teoricamente o estudo; e (ii) a condução de um experimento controlado, envolvendo coleta de dados neurofisiológicos por meio de EEG, aplicação de instrumentos psicométricos e análise das respostas emocionais dos participantes em ambientes imersivos.

4.1 Seleção dos Participantes

Foram recrutados 15 participantes (homens e mulheres), seguindo os critérios estabelecidos para garantir homogeneidade na amostra. foi assinado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes da participação. O utilizado encontra-se apresentado no Apêndice A.

A escolha de uma amostra composta por 15 participantes justifica-se pela natureza exploratória e de validação inicial do artefato, conforme proposto por (Nielsen (1993) e Julious (2005), que argumentam que pequenas amostras são adequadas para estudos de viabilidade, testes de conceito e fases preliminares de design de artefatos interativos. Em estudos baseados em DSR, o foco está na construção e refinamento incremental do artefato, e não em testes de hipótese com grandes populações.

Critérios de Seleção dos Participantes:

Os participantes recrutados para o estudo atenderam aos seguintes critérios:

- Faixa etária entre 18 e 75 anos;
- Escolaridade mínima de 9 anos;
- Ausência de condições neurológicas diagnosticadas;
- Não estar em uso de medicamentos psicoativos;
- Ausência de doenças que possam afetar a atividade cerebral;
- Visão normal ou corrigida (uma vez que o headset de RV a ser utilizado permite o uso de óculos);
- Não ter fobia severa a ambientes fechados ou a estímulos de RV;
- Não ter participado em estudos similares nos últimos três.

Os critérios adotados para seleção dos participantes foram estabelecidos com base em protocolos amplamente utilizados em estudos de EEG em ambientes de RV. Esses critérios têm o propósito de minimizar variabilidade nos sinais cerebrais e possíveis *confounders*. Por exemplo, estudos envolvendo exposição virtual a estímulos fóbicos, como queda de altura, costumam excluir indivíduos com histórico de epilepsia, trauma craniano ou uso de substâncias psicoativas, para evitar. Além disso, garantir visão adequada é essencial para assegurar que estímulos visuais apresentados via HMD (*Head-Mounted Display*) sejam percebidos corretamente, mantendo a integridade dos dados. Diante disso, esses critérios revelam uma preocupação metodológica em obter dados de EEG mais consistentes e confiáveis em ambientes virtuais (USSO *et al.*, 2024).

4.2 Procedimento de Coleta

O procedimento experimental será realizado em ambiente controlado, com iluminação adequada e temperatura ambiente constante. Cada sessão terá duração de aproximadamente 40 minutos, incluindo:

1. Preparação (10 minutos): o participante foi recebido, orientado sobre os procedimentos do experimento, realizará a leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e será equipado com o dispositivo de EEG e os óculos de Realidade Virtual;
2. Calibração de EEG (15 minutos): Foi realizado o posicionamento dos eletrodos, a verificação da impedância e a calibração do sistema para garantir a qualidade dos sinais eletroencefalográficos antes do início da coleta. e depois o participante foi colocado em Baseline olhos abertos e olhos fechados.

3. Exposição ao cenário de RV (7 minutos): o participante permaneceu imerso nos ambientes virtuais definidos pelo protocolo experimental, sendo exposto aos cenários enquanto os sinais de EEG serão registrados continuamente para posterior análise;

4. Pós-experimento (8 minutos): após a conclusão da sessão de RV, os equipamentos foram removidos e o participante respondeu aos questionários de avaliação da experiência. Em seguida, os dados coletados foram organizados e armazenados para processamento e análise posteriores.

4.3 Protocolo experimental dos testes

O experimento foi estruturado de forma padronizada, visando garantir reprodutibilidade e controle das variáveis.

O protocolo consiste na exposição dos participantes a diferentes condições emocionais em ambientes de RV, com coleta simultânea de sinais EEG.

Condições Experimentais

1. Baseline (Controle):

- Olhos abertos (2 minutos)
- Olhos fechados (2 minutos)

Antes da exposição aos ambientes de Realidade Virtual, foi realizado o registro basal da atividade cerebral dos participantes, denominado *baseline*. Essa etapa teve como objetivo estabelecer uma condição de referência individual para os sinais eletroencefalográficos, permitindo comparar posteriormente as alterações observadas durante a exposição aos diferentes cenários virtuais.

Inicialmente, os participantes permaneceram 2 minutos com os olhos abertos, mantendo o olhar direcionado para um ponto fixo e evitando movimentos desnecessários. Essa condição representa o estado de vigília em repouso, preservando a percepção visual e permitindo registrar a atividade cerebral em condições naturais de observação.

Em seguida, foi realizado um registro de 2 minutos com os olhos fechados, reduzindo a influência dos estímulos visuais externos e favorecendo a estabilização da atividade cerebral, especialmente da banda alfa, frequentemente associada ao estado de relaxamento.

Os registros basais foram utilizados como referência para avaliar as alterações neurofisiológicas provocadas pelos estímulos apresentados durante o experimento.

Figura 4.1 - Participante utilizando o dispositivo EEG de olhos abertos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.2 - Participante utilizando o dispositivo EEG de olhos fechados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

2. Cenários em Realidade virtual:

- Duração: 5 minutos com ambiente de natureza, floresta, chuva para criar estímulos.

Figura 4.3 - Participante utilizando o dispositivo óculos RV.

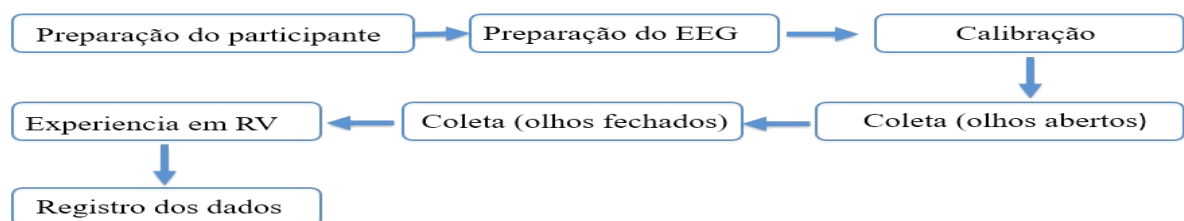


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Procedimento Experimental

O experimento foi conduzido em ambiente controlado, com iluminação e temperatura adequadas. Cada sessão teve duração aproximada de 40 minutos e seguiu as seguintes etapas conforme ilustrado na Figura 4.4, o protocolo experimental inicia com a preparação do participante e do equipamento de EEG, seguido pela coleta dos sinais EEG de olhos abertos e fechados, exposição ao ambiente de Realidade Virtual e o registro dos dados.

Figura 4.4 - Fluxograma experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Estudo e Definição das Tecnologias

Nesta etapa, foram analisadas e selecionadas as tecnologias a serem utilizadas na implementação do experimento, considerando critérios como compatibilidade entre os equipamentos, confiabilidade, disponibilidade de recursos e aderência aos objetivos da pesquisa.

A infraestrutura tecnológica foi definida de modo a contemplar três componentes principais: (i) apresentação dos estímulos em ambientes de Realidade Virtual, (ii) aquisição dos sinais eletroencefalográficos e (iii) processamento e análise dos dados coletados. Para o desenvolvimento dos ambientes imersivos, foi utilizada a plataforma Unity, escolhida devido à sua ampla compatibilidade com dispositivos de Realidade Virtual, flexibilidade na criação de cenários interativos e facilidade para o desenvolvimento de aplicações experimentais. (MANUAL, 2018).

A aquisição dos sinais de EEG foi realizada por meio de um dispositivo multicanal, utilizando o software disponibilizado pelo fabricante para registrar continuamente a atividade elétrica cerebral durante toda a sessão experimental. (RENARD et al., 2010).

Diferentemente de abordagens que realizam processamento e adaptação em tempo real, neste estudo os sinais de EEG foram armazenados durante a coleta e posteriormente processados em ambiente Python, onde foram executadas as etapas de pré-processamento, extração de características e análise dos dados.

Antes da coleta oficial, foram conduzidos testes preliminares para verificar o funcionamento dos equipamentos e validar o protocolo experimental. Esses testes compreenderam:

Os testes preliminares tiveram como objetivo identificar possíveis falhas operacionais antes da coleta oficial dos dados, assegurando o correto funcionamento da infraestrutura utilizada no experimento. Nessa etapa, foram realizadas sessões de teste utilizando o dispositivo de EEG e a aplicação desenvolvida em Unity, simulando as mesmas condições adotadas durante a coleta experimental.

Inicialmente, foi verificada a estabilidade da aquisição contínua dos sinais eletroencefalográficos durante a utilização simultânea do dispositivo EEG e dos óculos de Realidade Virtual. Essa verificação permitiu confirmar que o registro dos sinais permanecia contínuo durante toda a sessão experimental, sem interrupções ou perda de dados.

Em seguida, foi avaliada a qualidade dos sinais adquiridos por meio da inspeção do posicionamento dos eletrodos, da qualidade do contato com o couro cabeludo e da presença de possíveis artefatos provocados por movimentos do participante ou interferências externas.

Quando necessário, foram realizados ajustes antes do início da coleta definitiva.

Também foram executados testes para validar o funcionamento dos cenários desenvolvidos na plataforma Unity, verificando a correta apresentação dos estímulos visuais e sonoros, bem como a estabilidade da aplicação durante toda a duração do protocolo experimental.

Por fim, os arquivos gerados pelo sistema de aquisição foram exportados para verificar sua integridade e compatibilidade com as bibliotecas utilizadas em Python, garantindo que os dados pudessem ser corretamente importados para as etapas de pré-processamento, extração de características e análise.

Os testes permitiram validar o protocolo experimental, assegurando que os cenários de Realidade Virtual fossem executados conforme planejado e que os sinais eletroencefalográficos fossem registrados continuamente durante todo o experimento. Dessa forma, os dados coletados apresentaram qualidade e consistência adequadas para as etapas posteriores de processamento e análise offline.

Dessa forma, embora não tenha sido implementada uma integração automática entre a aplicação de Realidade Virtual e o sistema de aquisição de EEG, a organização do protocolo experimental e a aquisição contínua dos sinais permitiram associar cada etapa do experimento aos respectivos registros eletroencefalográficos durante a análise offline.

4.4 Instrumentação e cenário virtual

Neste estudo, foi desenvolvido um ambiente virtual utilizando o motor gráfico Unity, com a finalidade de proporcionar um ambiente imersivo e controlado para a realização do protocolo experimental. O ambiente virtual foi concebido para apresentar os estímulos aos participantes durante a aquisição dos sinais eletroencefalográficos (EEG), garantindo que todos fossem submetidos às mesmas condições experimentais.

Os cenários virtuais utilizados foram compostos exclusivamente por ambientes naturais, selecionados por suas características visuais e auditivas associadas à promoção de relaxamento e bem-estar. Foram utilizados cenários de floresta, chuva e montanhas, contendo elementos como vegetação, paisagens naturais, iluminação suave e sons da natureza, incluindo chuva, vento, água corrente e canto de pássaros. A escolha desses cenários teve como objetivo proporcionar uma experiência imersiva padronizada, reduzindo possíveis interferências decorrentes de diferenças entre os estímulos apresentados aos participantes. O Quadro 4.1 apresenta os cenários utilizados durante o experimento e suas principais características.

Quadro 4.1 - Características dos cenários de Realidade Virtual utilizados durante a aquisição dos sinais EEG.

Cenário	Características	Finalidade no experimento
Floresta	Vegetação, árvores e sons da natureza	Exposição dos participantes a um ambiente virtual natural durante a aquisição dos sinais EEG
Chuva	Ambiente natural com precipitação e sons de chuva	Exposição dos participantes a um ambiente virtual natural durante a aquisição dos sinais EEG
Montanhas	Paisagem montanhosa e sons naturais	Exposição dos participantes a um ambiente virtual natural durante a aquisição dos sinais EEG

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

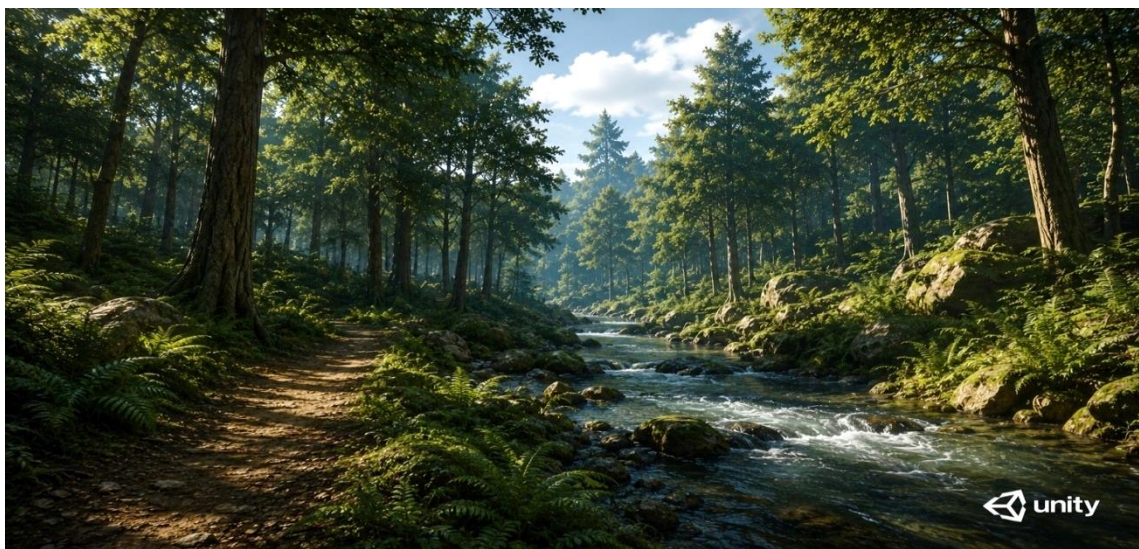
A visualização dos ambientes foi realizada por meio de um dispositivo de Realidade Virtual do tipo Head-Mounted Display (HMD), permitindo que os participantes interagissem com os cenários tridimensionais de forma imersiva durante toda a sessão experimental. Enquanto os participantes permaneciam expostos aos ambientes virtuais, os sinais eletroencefalográficos foram registrados continuamente pelo sistema de aquisição de EEG e armazenados para posterior processamento.

Após a conclusão da coleta experimental, os sinais registrados foram processados offline em ambiente Python. Nessa etapa foram realizadas as operações de pré-processamento, incluindo filtragem dos sinais, remoção de artefatos e organização dos dados, seguidas da extração de características no domínio da frequência, utilizadas na investigação dos padrões neurofisiológicos relacionados às respostas emocionais observadas durante a exposição aos cenários virtuais. Todo o processamento foi realizado após o término das sessões experimentais, não sendo implementado qualquer mecanismo de processamento ou adaptação automática do ambiente virtual em tempo real.

Dessa forma, a infraestrutura experimental foi composta pelo ambiente virtual desenvolvido em Unity, pelo dispositivo de Realidade Virtual e pelo sistema de aquisição de

EEG, possibilitando a obtenção de uma base de dados padronizada para análise posterior dos sinais eletroencefalográficos. Essa abordagem permitiu investigar a relação entre a exposição aos ambientes virtuais e os padrões neurofisiológicos observados, preservando o controle experimental e a reprodutibilidade da pesquisa. Os cenários virtuais utilizados durante os experimentos são apresentados nas Figuras 4.5 a 4.7, representando, respectivamente, um ambiente de floresta com vegetação e sons da natureza, um ambiente natural com precipitação e sons de chuva e uma paisagem montanhosa com sons naturais.

Figura 4.5 - Floresta com vegetação, árvores e sons da natureza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.6 - Chuva, Vegetação, ambiente natural com precipitação e sons de chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.7 - Montanhas, paisagem montanhosa e sons naturais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.5 Aquisição dos sinais EEG

Os sinais eletroencefalográficos foram adquiridos por meio de um dispositivo conectado ao computador via interface USB, garantindo transmissão estável e adequada resolução temporal. A coleta foi realizada utilizando o software do dispositivo, com acesso aos dados por meio de sua API/SDK. Posteriormente, os dados foram processados em ambiente Python para análise dos sinais.

A aquisição dos sinais foi realizada utilizando um sistema com 16 canais, com eletrodos posicionados de acordo com o Sistema Internacional 10-20. Os sinais foram registrados com frequência de amostragem de 128 Hz, mantendo a impedância eletrodo-pele abaixo de 20 k Ω , a fim de garantir a qualidade dos dados coletados. Durante a aquisição, foi aplicado um filtro passa-banda de 0.5–40 Hz, conforme recomendações da literatura. (VAGAJA; LINKENKAERHANSEN; VOURVOPOULOS, 2024).

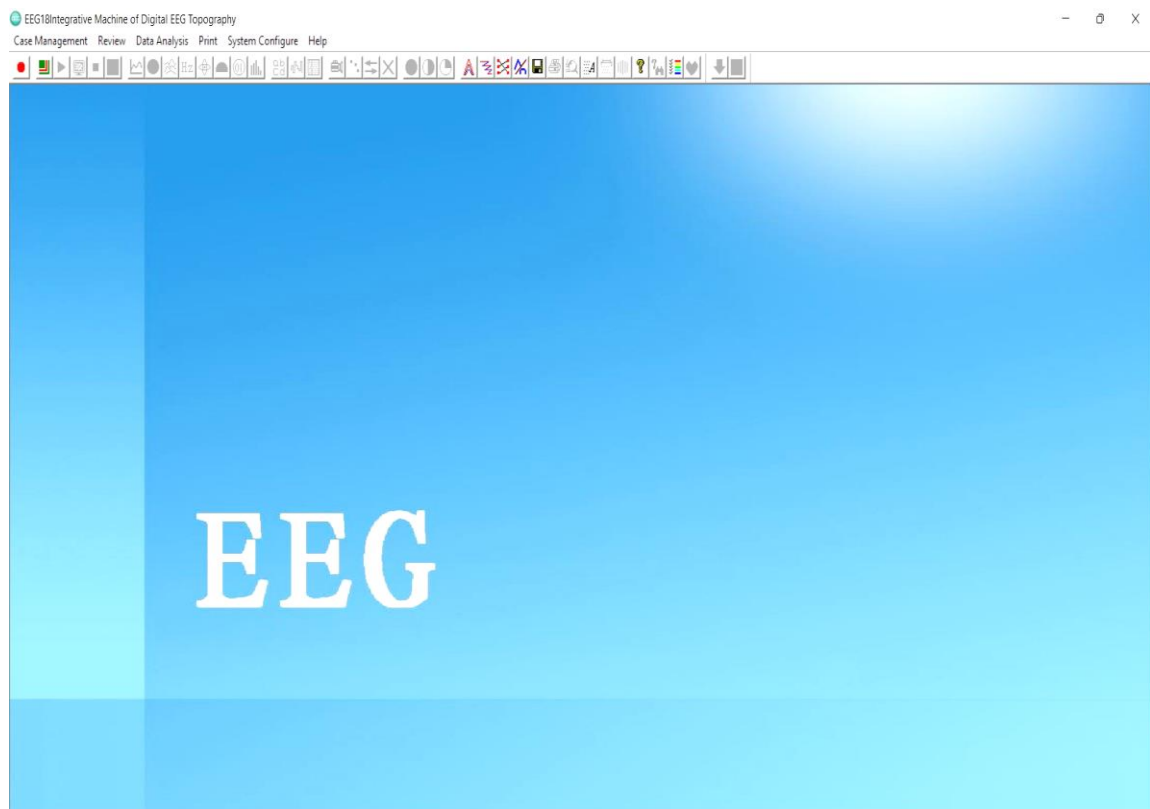
Os eletrodos foram posicionados no gorro de EEG de acordo com o Sistema Internacional 10-20, sem a necessidade de reposicionamento específico para regiões motoras, uma vez que o foco deste estudo está na análise de estados emocionais, e não em tarefas de imagética motora.

Foram utilizados 16 canais de aquisição, distribuídos entre regiões frontais, centrais e

parietais, incluindo FP1, FP2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T7, T8, P3, P4, P7, P8, O1e O2.

Embora todos os canais tenham sido utilizados durante a coleta dos sinais, a análise dos dados concentrou-se principalmente nas regiões frontais, devido à sua reconhecida relevância no processamento emocional, especialmente em estudos relacionados à assimetria de atividade nas bandas de frequência, como o ritmo alfa.

Figura 4.8 - Interface inicial do software de aquisição e monitoramento dos sinais de EEG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

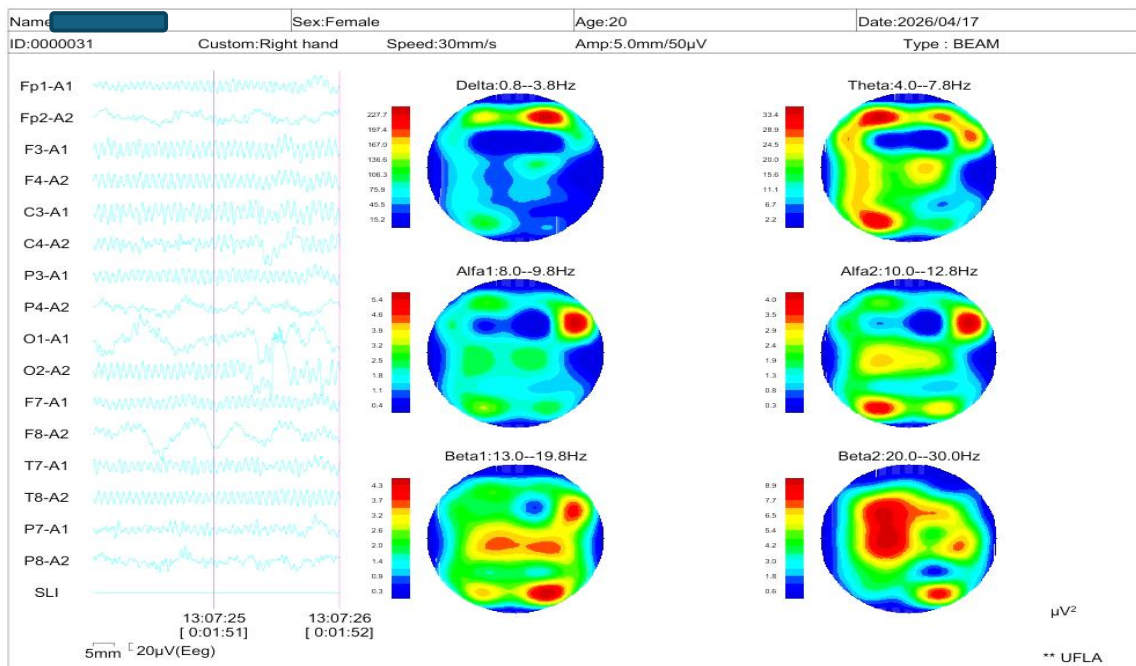
Os eletrodos de referência foram posicionados nos lóbulos auriculares (A1 e A2), garantindo maior estabilidade do sinal e redução de interferências externas. (PFURTSCHELLER, 2001).

A adoção de um sistema com 16 canais foi definida como um compromisso entre qualidade de aquisição e viabilidade experimental. Embora sistemas com maior número de canais ofereçam maior resolução espacial, sua utilização implica maior tempo de preparação, aumento da complexidade na análise dos dados e possível desconforto para os participantes. Dessa forma, os 16 canais utilizados mostraram-se adequados para cobrir as regiões corticais de interesse neste estudo, permitindo a captação eficiente dos sinais relacionados aos estados emocionais, sem comprometer a qualidade dos dados nem a experiência dos participantes.

(PFURTSCHELLER, 2001).

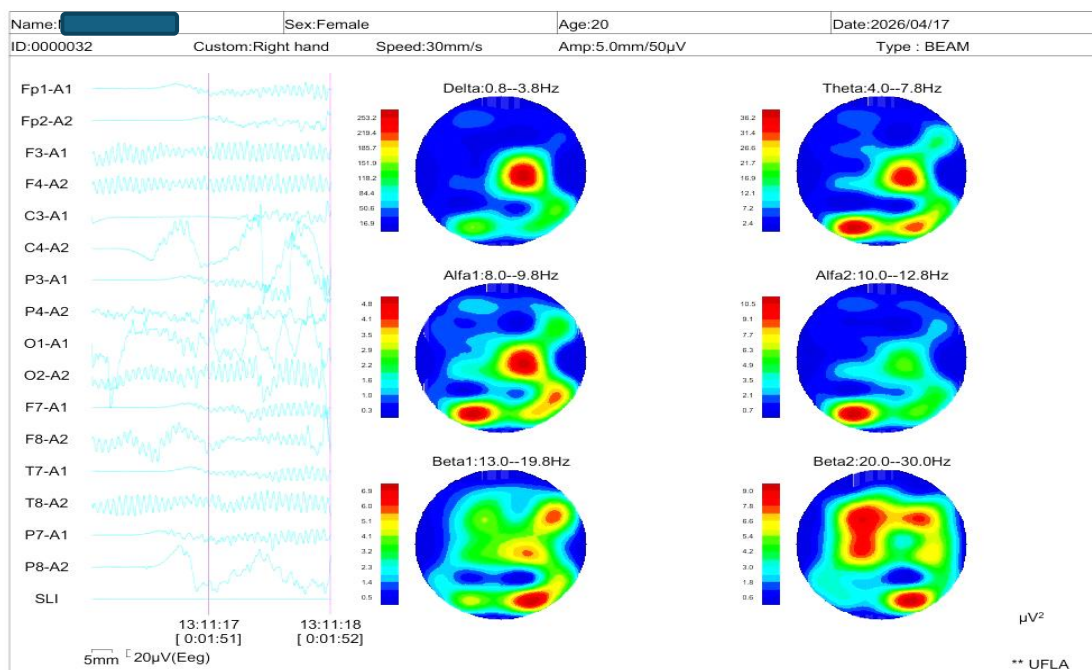
Após a configuração do sistema de eletroencefalografia (EEG), foi realizada a etapa inicial de aquisição dos sinais em estado de repouso (baseline), com o objetivo de estabelecer uma referência da atividade cerebral dos participantes antes da exposição aos estímulos em Realidade Virtual (RV). Essa etapa foi dividida em dois blocos de aproximadamente dois minutos cada, correspondentes às condições de repouso com olhos abertos e repouso com olhos fechados. Em seguida, os participantes foram submetidos ao cenário de RV, desenvolvido para proporcionar uma experiência imersiva em ambiente natural, com estímulos visuais e auditivos voltados à indução de um estado de relaxamento. Durante todas as etapas do protocolo experimental, os sinais eletroencefalográficos foram continuamente registrados para possibilitar a comparação da atividade neural entre as diferentes condições. As Figuras 4.9 a 4.12 apresentam a interface do software utilizado para aquisição dos sinais, bem como os registros eletroencefalográficos e os respectivos mapas topográficos das bandas de frequência obtidos durante as condições de repouso com olhos abertos, repouso com olhos fechados e exposição ao ambiente de Realidade Virtual. Nessas figuras, é possível observar as variações do potencial elétrico registradas em cada canal ao longo do período de aquisição, permitindo a análise da distribuição espacial da atividade cerebral em cada condição experimental.

Figura 4.9 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a condição de olhos abertos.



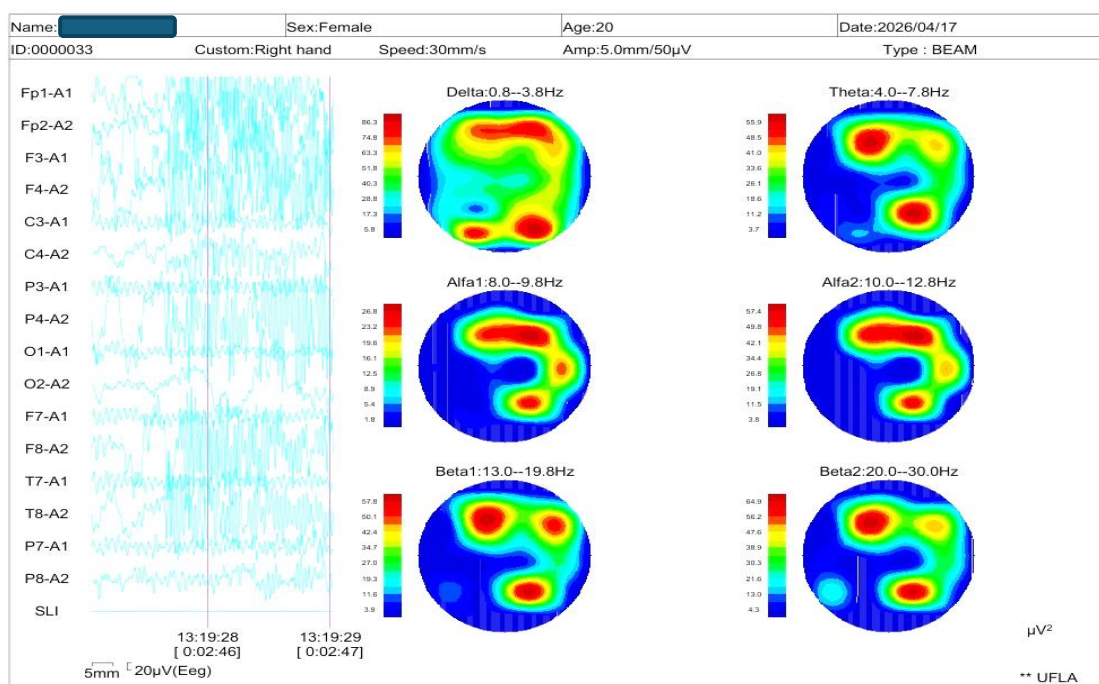
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.10 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a condição de repouso com os olhos fechados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.11 - Sinais eletroencefalográficos e mapas topográficos das bandas de frequência do EEG durante a exposição ao ambiente de Realidade Virtual.

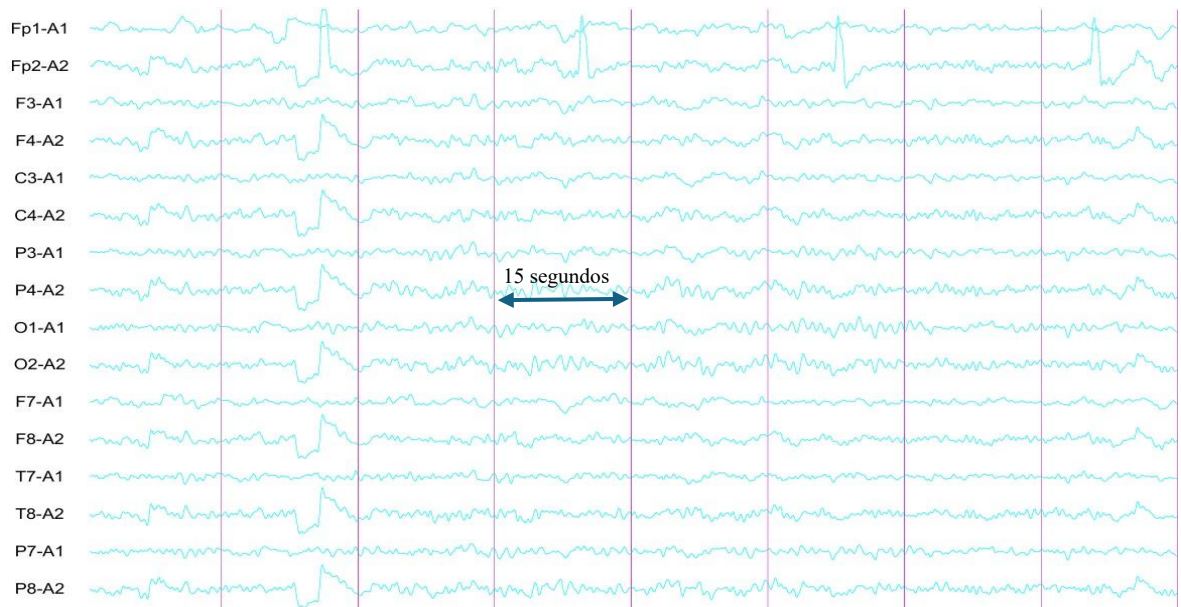


Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Durante toda a execução do experimento, os sinais EEG foram registrados continuamente, permitindo a análise das respostas neurais associadas a cada condição. A sincronização entre os estímulos apresentados e os sinais EEG foi realizada por meio de marcadores temporais (*timestamps*), possibilitando a segmentação dos dados de acordo com cada fase do experimento (baseline, relaxamento e estimulação).

Ao final da sessão experimental, foram aplicados instrumentos subjetivos para avaliação da experiência dos participantes, permitindo complementar a análise dos dados neurofisiológicos com informações autorrelatadas.

Figura 4.12 - Sinais de EEG dos 16 canais baseline olhos abertos com duração de 2 minutos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.6 Análise dos Dados

A análise dos dados foi conduzida por meio de abordagens quantitativa e qualitativa, com o objetivo de investigar as respostas emocionais dos participantes durante as diferentes condições experimentais. A abordagem quantitativa baseou-se na análise dos sinais eletroencefalográficos, enquanto a abordagem qualitativa considerou as respostas fornecidas pelos participantes em questionários aplicados ao final de cada condição experimental.

Os relatos subjetivos foram obtidos por meio de um questionário elaborado para este estudo, aplicado imediatamente após cada etapa do experimento. O instrumento buscou

registrar a percepção dos participantes quanto ao nível de relaxamento, conforto, imersão, atenção e estado emocional durante a exposição aos diferentes cenários. As respostas foram analisadas por meio de análise de conteúdo e utilizadas como informação complementar na interpretação dos resultados obtidos a partir dos sinais de EEG. O questionário utilizado encontra-se apresentado no Apêndice B.

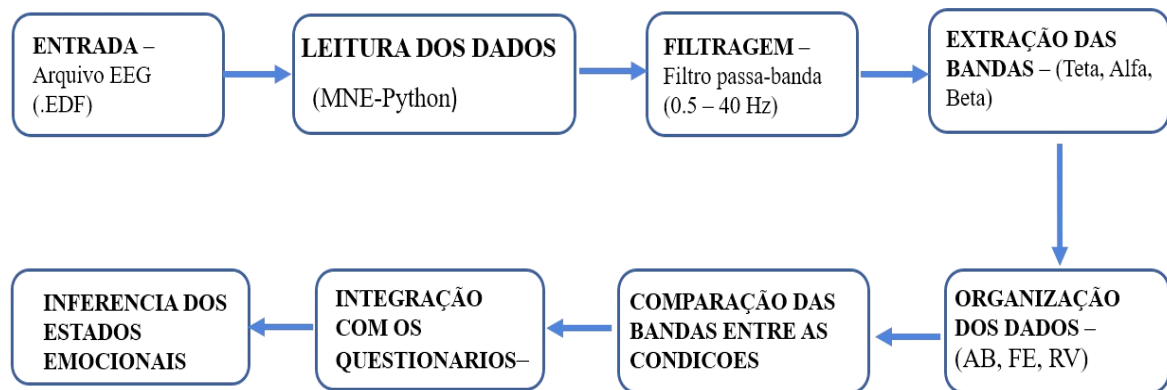
A análise quantitativa foi realizada em ambiente Python utilizando a biblioteca MNE-Python, amplamente empregada para aquisição, processamento e análise de sinais eletroencefalográficos. Inicialmente, os arquivos no formato EDF foram carregados para o ambiente de processamento e submetidos à aplicação de um filtro passa-banda entre 0,5 Hz e 40 Hz, com o objetivo de atenuar componentes de baixa frequência relacionados à deriva da linha de base e componentes de alta frequência associados a ruídos. Nesta pesquisa não foram empregadas técnicas específicas de remoção de artefatos, como Análise de Componentes Independentes (ICA) ou métodos automáticos de rejeição, uma vez que os sinais adquiridos apresentaram qualidade suficiente para as análises propostas após a etapa de aquisição e filtragem.

Após o pré-processamento, foram extraídas as informações referentes às bandas de frequência teta (4–8 Hz), alfa (8–13 Hz) e beta (13–30 Hz), por serem amplamente utilizadas na literatura para a investigação de processos cognitivos e emocionais. Em seguida, os valores obtidos foram organizados de acordo com as três condições experimentais do estudo: olhos abertos, olhos fechados e imersão em ambiente de realidade virtual. A segmentação dos sinais foi realizada utilizando os marcadores temporais registrados durante o experimento, permitindo a comparação das bandas de frequência entre as diferentes condições.

A interpretação das respostas emocionais foi realizada por meio da análise comparativa das variações observadas nas bandas teta, alfa e beta entre as condições experimentais. A análise fundamentou-se na literatura especializada, que relaciona alterações nessas bandas a diferentes estados cognitivos e emocionais, como relaxamento, atenção e ativação emocional. Dessa forma, os resultados foram interpretados considerando as diferenças observadas entre as condições experimentais e sua relação com os estados emocionais investigados como mostra a figura 4.13.

Por fim, os resultados obtidos a partir da análise dos sinais de EEG foram confrontados com as respostas dos questionários, permitindo uma interpretação integrada das respostas fisiológicas e subjetivas dos participantes. Essa estratégia possibilitou verificar a correspondência entre as alterações observadas nos sinais eletroencefalográficos e as percepções relatadas pelos participantes durante a exposição aos ambientes de realidade virtual.

Figura 4.13 - Abordagem de processamento e extração de características de EEG (inferência emocional em RV).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.7 Banco de dados

O banco de dados *DEAP Dataset (Dataset for Emotion Analysis using Physiological Signals)* foi utilizado como referência na etapa de fundamentação metodológica deste estudo. Trata-se de uma base amplamente consolidada na literatura científica, composta por registros de EEG de 32 participantes, adquiridos por meio de 32 canais durante a exposição a estímulos audiovisuais com conteúdo emocional (KOELSTRA et al., 2011).

Apesar da disponibilidade dos 32 canais no conjunto original, estudos baseados no DEAP frequentemente utilizam subconjuntos de canais, especialmente aqueles localizados em regiões frontais e centrais, devido à sua relevância na análise de estados emocionais. Essa abordagem também é compatível com cenários mais realistas, considerando as limitações de dispositivos EEG portáteis comumente utilizados em aplicações de RV.

No contexto deste trabalho, o DEAP foi utilizado como base de comparação conceitual e metodológica, auxiliando na definição das estratégias de análise dos sinais EEG, especialmente no que se refere à extração de características no domínio da frequência e à interpretação de padrões associados a estados emocionais.

Na etapa experimental, foram coletados dados próprios com 15 participantes, utilizando um sistema de 16 canais de EEG. Essa fase envolveu a aquisição dos sinais durante a exposição aos cenários de RV desenvolvidos neste estudo, permitindo a análise dos padrões neurofisiológicos em um contexto aplicado.

Dessa forma, o estudo prioriza uma abordagem baseada na interpretação de padrões de atividade cerebral, ao invés da utilização de modelos automatizados de classificação, destacando a importância da análise neurofisiológica como base para a compreensão dos estados emocionais. A interpretação dos padrões de atividade cerebral é realizada por meio da análise das bandas de frequência do EEG (delta, teta, alfa, beta e gama), observando-se alterações na potência espectral e na distribuição da atividade elétrica entre diferentes regiões cerebrais durante a exposição aos estímulos em realidade virtual. Essas variações são comparadas com padrões descritos na literatura científica, permitindo identificar possíveis associações com estados emocionais, níveis de atenção, relaxamento, excitação ou engajamento cognitivo. A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina é apontada como uma possibilidade para trabalhos futuros, visando automatizar e ampliar a capacidade de identificação desses padrões.

4.8 Configuração do Sistema EEG e Calibração de Sinais

A configuração do sistema de EEG constituiu uma etapa fundamental para garantir a aquisição de sinais cerebrais confiáveis e a adequada integração com os cenários de RV desenvolvidos. Para este estudo, foi utilizado um sistema de EEG multicanal com 16 canais ativos, cujos eletrodos foram posicionados de acordo com o Sistema Internacional 10-20, abrangendo regiões frontais, centrais e parietais, frequentemente associadas à modulação de processos emocionais, cognitivos e atencionais.

A escolha do número de canais buscou equilibrar a qualidade da aquisição com a praticidade operacional, minimizando o desconforto dos participantes e reduzindo a complexidade do processamento dos dados (VAGAJA; LINKENKAER HANSEN; VOORVOPOULOS, 2024).

A aquisição dos sinais foi realizada por meio de um dispositivo EEG com suporte à comunicação direta via API/SDK, permitindo acesso contínuo aos dados. Essa abordagem possibilitou a implementação de um pipeline próprio de aquisição e pré-processamento, proporcionando maior controle sobre a manipulação dos sinais e sua integração com o ambiente virtual.

Antes do início das sessões experimentais, cada participante passou por um procedimento de preparação que incluiu a higienização do couro cabeludo e a colocação do gorro de EEG. Foram adotados critérios rigorosos de qualidade do sinal, mantendo a impedância dos eletrodos abaixo de 10 k Ω , de modo a assegurar a integridade dos dados

coletados. Em seguida, foi realizada a calibração inicial do sistema, incluindo a verificação da estabilidade dos sinais e o ajuste de parâmetros como ganho, aplicação de filtros passa-banda de 0.5- 45 Hz e definição da taxa de amostragem em 128 Hz, adequada para a análise das bandas de frequência de interesse, conforme o critério de Nyquist.

Para otimizar a detecção de padrões emocionais durante a interação com os cenários virtuais, o sistema foi configurado para monitorar variações nas bandas de frequência, especialmente nas faixas alfa (8–13 Hz), associada a estados de relaxamento, e beta (13–30 Hz), relacionada à atenção e ativação cognitiva. A calibração incluiu também a realização de sessões de linha de base, com os participantes em condições de olhos abertos e fechados, permitindo o estabelecimento de parâmetros individuais de referência.

4.8.1 Testes de Usabilidade e Ajustes Técnicos Preliminares

Antes da implementação definitiva do experimento com todos os participantes, foram realizados testes de usabilidade e ajustes técnicos preliminares, com o objetivo de garantir a funcionalidade, confiabilidade e conforto da integração entre os ambientes de RV e o sistema de EEG. Esses testes envolveram um grupo piloto composto por três voluntários, selecionados com base em critérios semelhantes aos da amostra principal, permitindo a identificação de problemas operacionais, dificuldades de interação e possíveis limitações do equipamento.

Os testes de usabilidade incluíram a avaliação do posicionamento e conforto do dispositivo de RV, a fixação adequada do gorro de EEG e a calibração dos eletrodos para garantir a qualidade do sinal. Durante essas sessões preliminares, foram observadas questões como pressão excessiva do headset, interferências na organização dos cabos durante movimentos de cabeça e possíveis desconfortos relacionados aos estímulos visuais e auditivos. A partir dessas observações, foram realizados ajustes na ergonomia do equipamento, na organização física do sistema e na intensidade dos estímulos multimodais, proporcionando uma experiência mais confortável e segura para os participantes.

Além do conforto físico, os testes avaliaram a integração entre o ambiente desenvolvido em Unity e o sistema de aquisição de EEG baseado em APIs/SDKs, verificando a transmissão dos dados e o registro sincronizado dos eventos experimentais. Foram identificadas pequenas discrepâncias temporais que poderiam comprometer a análise dos dados neurofisiológicos. Para corrigir essas inconsistências, foram realizados ajustes na comunicação entre os módulos para melhorar o alinhamento dos dados (RENARD et al., 2010).

Durante os testes preliminares, também foi analisada a clareza das instruções fornecidas

aos participantes, o tempo necessário para cada etapa do experimento e a compreensão das tarefas propostas. Ajustes foram realizados na forma de apresentação das instruções e na interface do sistema, com o objetivo de minimizar erros operacionais e reduzir a variabilidade dos dados associada a fatores cognitivos ou à má interpretação das tarefas.

A coleta de dados durante o estudo piloto permitiu identificar ruídos e interferências nos sinais de EEG, especialmente relacionados a movimentos corporais e ajustes no posicionamento do dispositivo de RV. Para mitigar esses efeitos, foram estabelecidas orientações mais detalhadas aos participantes quanto à postura e movimentação, além de ajustes nos procedimentos de pré-processamento dos sinais, incluindo filtragem digital e estratégias de rejeição de artefatos, garantindo maior qualidade e confiabilidade dos registros neurofisiológicos durante o experimento principal.

Os testes de usabilidade também contemplaram a avaliação do impacto emocional dos estímulos apresentados. Os voluntários forneceram avaliação subjetiva por meio de relatos auto reportados sobre sensações de relaxamento, desconforto, presença imersiva e nível de engajamento com os cenários virtuais.

Por fim, toda a etapa de testes e ajustes técnicos preliminares foi documentada em relatórios detalhados, incluindo os problemas identificados, as soluções implementadas e recomendações para a condução do experimento principal. Essa documentação contribui para a reprodutibilidade do estudo e fornece subsídios para pesquisas futuras.

Dessa forma, os testes de usabilidade e ajustes técnicos preliminares foram importantes para analisar a integração entre RV e EEG, otimizar a experiência do usuário e contribuir para a confiabilidade dos dados coletados. Essa etapa preparatória permitiu antecipar e resolver desafios técnicos, contribuindo para um ambiente experimental robusto, seguro e adequado para a análise dos efeitos da RV sobre o estado emocional e cognitivo dos participantes.

4.8.2 Pré-processamento dos sinais EEG

Os sinais eletroencefalográficos coletados durante os experimentos passaram por uma etapa rigorosa de pré-processamento, com o objetivo de aumentar a qualidade dos dados e garantir a confiabilidade das Análises estatísticas e de inferência emocional subsequentes. Esta etapa é fundamental em estudos envolvendo EEG, uma vez que os sinais brutos são altamente suscetíveis a ruídos fisiológicos, artefatos ambientais e variações não estacionárias, que podem comprometer a interpretação dos padrões neurofisiológicos associados aos estados emocionais.

Inicialmente, os sinais foram importados no ambiente de processamento utilizando a

biblioteca MNE-Python, a partir de arquivos no formato EDF (European Data Format), amplamente utilizado em registros biomédicos. Durante a leitura dos dados, foi realizada a verificação automática da estrutura do arquivo, incluindo a integridade do cabeçalho, número de amostras e consistência temporal dos registros. Em alguns casos, foram identificadas inconsistências entre o cabeçalho e o tamanho real do arquivo, indicando possíveis interrupções não planejadas no registro do sinal. Nesses casos, o software realizou a inferência automática do comprimento do sinal com base no tamanho do arquivo, conforme comportamento padrão da biblioteca utilizada.

Após a importação, os sinais foram submetidos a um filtro digital passa-banda (band-pass filter), configurado na faixa de 0.5 Hz a 40 Hz. Este intervalo foi definido com base em fundamentos neurofisiológicos consolidados na literatura, visando preservar as principais bandas de interesse do EEG: delta (0.5–4 Hz), theta (4–8 Hz), alfa (8–13 Hz), beta (13–30 Hz) e parte da banda gama baixa (até aproximadamente 40 Hz).

O filtro utilizado foi implementado por meio de um filtro Finite Impulse Response (FIR), projetado com janela do tipo Hamming. Este tipo de filtro foi escolhido por apresentar estabilidade garantida e resposta de fase linear quando aplicado em configuração de dupla passagem (zero-phase filtering), o que evita distorções temporais no sinal — aspecto crítico em Análise de dinâmica emocional.

Os parâmetros do filtro incluíram uma largura de transição de 0.5 Hz na borda inferior e 10 Hz na borda superior, com atenuação de banda de rejeição de aproximadamente 53 dB. O comprimento do filtro foi de 1321 amostras, o que corresponde a aproximadamente 6.6 segundos de duração do kernel de convolução, garantindo suavização adequada sem comprometer a resolução temporal dos sinais.

A aplicação do filtro foi realizada de forma não causal e de fase zero (zero-phase filtering), assegurando que não houvesse deslocamento temporal das componentes do sinal, característica essencial para a análise comparativa entre condições experimentais (baseline com olhos abertos, olhos fechados e RV).

Como resultado desta etapa, foram removidas interferências de baixa frequência associadas a deriva da linha de base (baseline drift), movimentos lentos e variações fisiológicas não relacionadas ao estímulo experimental. Da mesma forma, componentes de alta frequência, frequentemente associadas a ruído eletromagnético, atividade muscular (EMG) e interferência de equipamentos, também foram atenuadas.

Dessa forma, o pré-processamento garantiu a obtenção de sinais EEG mais estáveis e adequados para análise estatística e extração de características emocionais, permitindo maior

confiabilidade na investigação dos estados afetivos induzidos pelos diferentes cenários experimentais.

4.8.3 Estrutura experimental

O conjunto de dados foi composto por registros de múltiplos participantes submetidos a três condições experimentais distintas:

- **AB (Olhos Abertos):** condição de baseline com os participantes em estado de vigília e estímulo visual natural reduzido.
- **FE (Olhos Fechados):** condição de relaxamento com redução de estímulos visuais externos, frequentemente associada a estados de maior estabilidade neural.
- **RV (RV):** condição experimental principal, na qual os participantes foram expostos a ambientes imersivos em RV com potencial indução de respostas emocionais.

Cada participante possui, portanto, três registros correspondentes às três condições experimentais, permitindo análise interindividual e intercondição.

4.8.4 Estrutura dos arquivos e padronização

os dados foram originalmente armazenados no formato EDF (European Data Format), com nomenclatura padronizada conforme o seguinte padrão:

ParticipanteXAB.EDF, ParticipanteXFE.EDF, ParticipanteXRV.EDF

Onde:

- **X** representa o identificador do participante
- **AB / FE / RV** representam as condições experimentais

Essa padronização permitiu a automação do processo de leitura e processamento dos sinais, garantindo consistência na pipeline de análise.

4.8.5 Processamento computacional e estruturação interna

Após a leitura dos arquivos no ambiente de processamento (MNE-Python), cada sinal foi convertido para uma estrutura interna do tipo *Raw*, contendo informações como:

- Frequência de amostragem
- Canais de EEG
- Vetor temporal do sinal

- Metadados do experimento

Em seguida, os sinais foram organizados em uma estrutura de dados tabular (DataFrame), contendo pelo menos os seguintes campos:

- Participante
- Condição experimental (AB, FE, RV)
- Valores derivados do sinal EEG (após filtragem)
- Estatísticas associadas ao sinal (quando aplicável)

Durante a leitura dos arquivos, foram identificadas inconsistências pontuais entre o número de registros descritos no cabeçalho e o tamanho real do arquivo em alguns participantes. Esses casos foram tratados automaticamente pela biblioteca MNE, que realizou a inferência do tamanho real do sinal com base no arquivo bruto.

Além disso, todos os sinais foram alinhados temporalmente dentro de suas respectivas janelas experimentais, garantindo comparabilidade entre condições e participantes.

Ao final desta etapa, os dados foram estruturados em um formato consolidado, permitindo:

- Comparação entre condições (AB vs FE vs RV)
- Análise intraindividual (mesmo participante em diferentes estados)
- Análise interindividual (variação entre participantes)
- Preparação para Análise estatísticas e extração de padrões emocionais

4.9 Considerações Éticas e Privacidade dos Dados

O estudo seguiu rigorosamente os princípios éticos estabelecidos pela Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), após serem devidamente informados sobre os objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa.

Os dados coletados, incluindo sinais eletroencefalográficos e informações comportamentais, foram anonimizados e armazenados em ambiente seguro, com acesso restrito aos pesquisadores envolvidos no estudo.

Foram adotadas medidas para minimizar possíveis desconfortos decorrentes da utilização da RV, incluindo pausas programadas durante o experimento e monitoramento contínuo dos participantes, com possibilidade de interrupção imediata da sessão em caso de

mal-estar.

A privacidade e a confidencialidade dos dados neurofisiológicos foram asseguradas conforme as diretrizes éticas para pesquisas envolvendo dados sensíveis.

O projeto de pesquisa foi submetido e aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), garantindo conformidade com as normas vigentes para estudos com seres humanos.

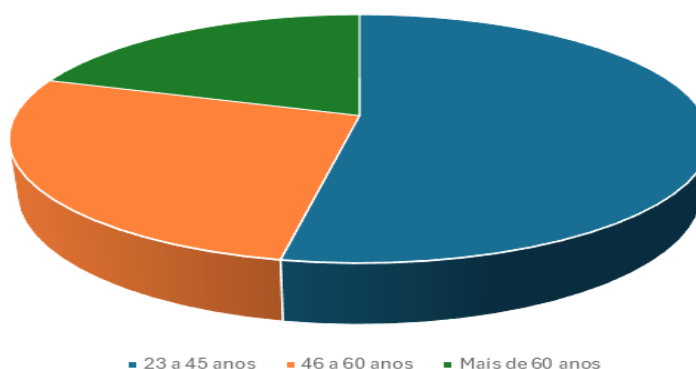
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Amostra

5.1.1 Perfil Sociodemográfico e Clínico dos Participantes

A amostra deste estudo foi composta por 15 participantes, incluindo homens e mulheres com idades entre 18 e 75 anos, conforme estabelecido nos critérios de inclusão. A distribuição etária revelou maior concentração na faixa entre 25 e 45 anos, correspondendo a 53% da amostra, enquanto participantes com mais de 60 anos representaram 20% do total, garantindo diversidade etária adequada para a análise de respostas emocionais e neurofisiológicas em diferentes fases da vida (Gráfico 1)

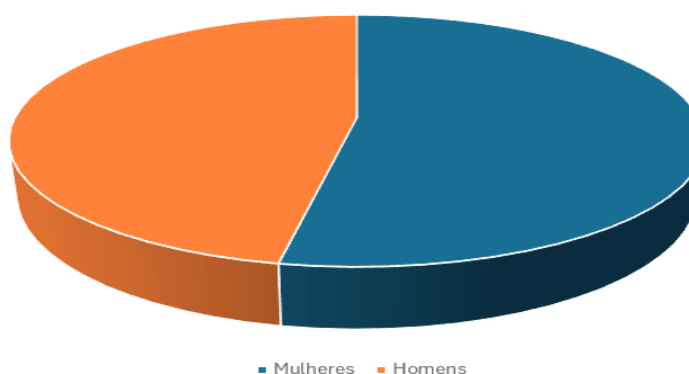
Gráfico 1 - Faixa etária.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em relação ao gênero, observou-se uma distribuição equilibrada, com 8 mulheres (53%) e 7 homens (47%), permitindo a análise comparativa de possíveis variações nas respostas aos estímulos experimentais (Gráfico 2).

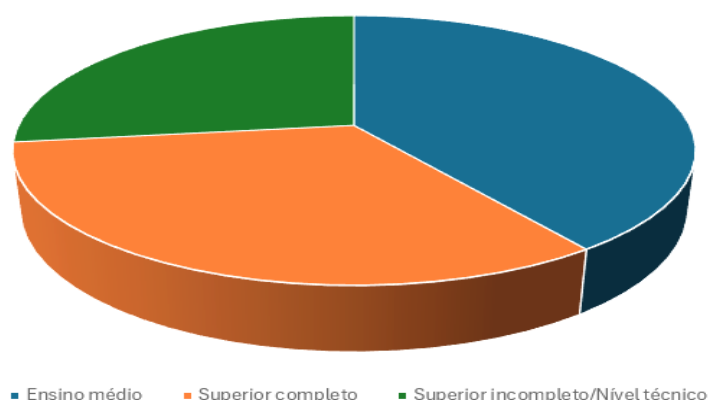
Gráfico 2 - Gênero.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No que se refere à escolaridade, todos os participantes possuíam no mínimo nove anos de estudo, sendo que 40% haviam concluído o ensino médio, 33% possuíam formação superior completa e 27% apresentavam nível técnico ou superior incompleto (Gráfico 3). Essa heterogeneidade educacional contribui para a análise da influência de fatores cognitivos e de familiaridade tecnológica na experiência com ambientes de RV.

Gráfico 3 – Escolaridade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A lateralidade predominante foi destra, em conformidade com os critérios de inclusão, contribuindo para maior consistência na análise de padrões neurofisiológicos, especialmente em estudos envolvendo atividade cortical hemisférica.

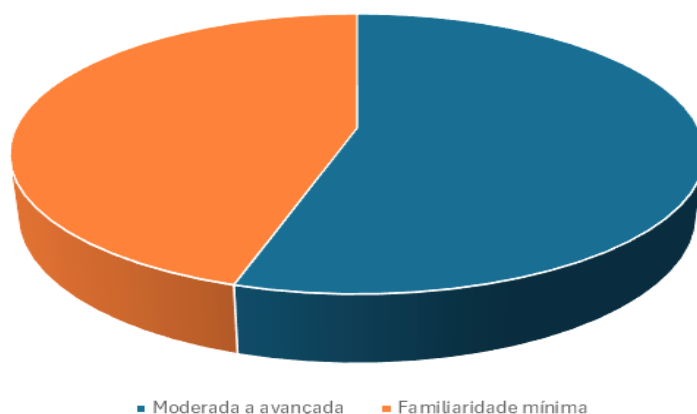
Do ponto de vista clínico, todos os participantes relataram ausência de condições neurológicas diagnosticadas, não faziam uso de medicamentos psicoativos e apresentavam acuidade visual normal ou corrigida. Adicionalmente, foram considerados fatores que poderiam interferir na qualidade dos sinais de EEG, como a recomendação de abstinência de cafeína antes das sessões experimentais e a exclusão de indivíduos com histórico de convulsões ou sensibilidade à estimulação visual intensa.

Esses cuidados metodológicos visam minimizar interferências externas nos sinais neurofisiológicos, garantindo que as variações observadas estejam associadas às condições experimentais propostas, incluindo estados de repouso (olhos abertos e fechados) e exposição a ambientes de RV.

Também foi avaliado o nível de familiaridade com tecnologias digitais, incluindo o uso de computadores, smartphones e dispositivos de RV. Aproximadamente 60% dos participantes relataram experiência moderada a avançada, enquanto 40% apresentaram baixa familiaridade

(Gráfico 4). Essa variável foi considerada relevante para a interpretação dos níveis de imersão e engajamento durante a coleta de dados.

Gráfico 4 - Histórico de familiaridade com tecnologias digitais.



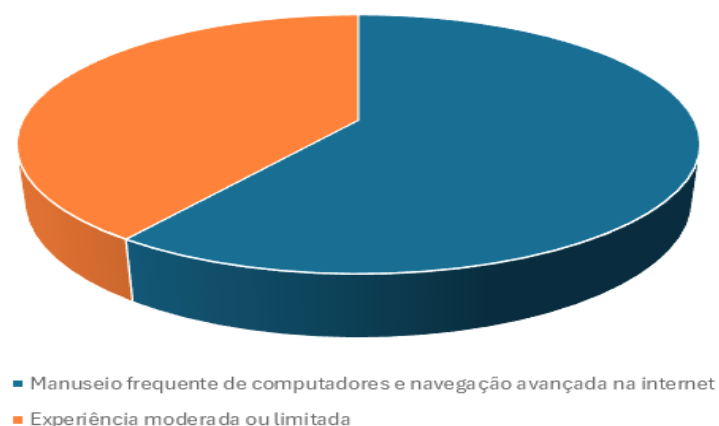
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Dessa forma, a caracterização da amostra evidencia um grupo heterogêneo e metodologicamente controlado, adequado para um estudo de natureza exploratória. Essa diversidade permite analisar, de forma contextualizada, as respostas emocionais e neurofisiológicas associadas à exposição a diferentes condições experimentais, contribuindo para a compreensão do uso combinado de EEG e RV no monitoramento de estados emocionais.

5.1.2 Histórico de Experiência com Tecnologias Digitais e RV

A experiência prévia dos participantes com tecnologias digitais foi avaliada por meio de questionários estruturados aplicados antes do início das sessões experimentais. Os resultados indicaram que a maioria dos participantes possuía familiaridade com o uso de computadores, smartphones e outros dispositivos digitais de uso cotidiano. Aproximadamente 60% relataram uso frequente e domínio funcional dessas tecnologias, enquanto 40% apresentaram experiência moderada ou limitada (Gráfico 5), sendo necessário fornecer orientações iniciais para o uso adequado das ferramentas empregadas no experimento.

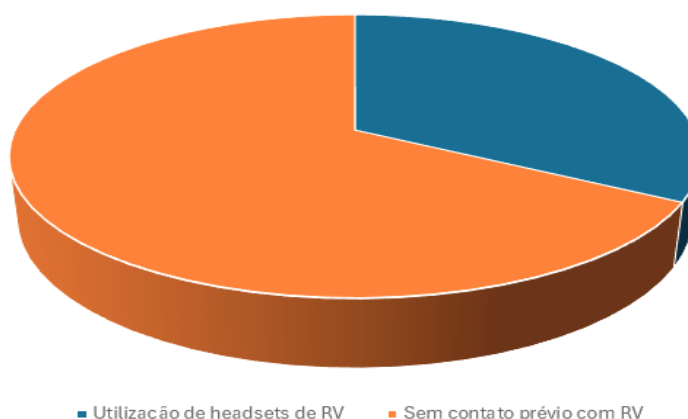
Gráfico 5 - Experiência prévia dos participantes com tecnologias digitais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Especificamente em relação à RV, observou-se que 33% dos participantes já haviam utilizado dispositivos imersivos, enquanto 67% não possuíam experiência prévia com essa tecnologia (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Experiência prévia dos participantes com RV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa variação na experiência prévia constituiu um fator relevante a ser considerado na análise dos resultados, uma vez que a familiaridade com ambientes virtuais pode influenciar diretamente a imersão, o engajamento e as respostas emocionais e neurofisiológicas durante as sessões experimentais. Para os participantes com menor experiência, foram realizadas instruções detalhadas e uma fase de familiarização, garantindo que todos pudessem interagir com os cenários de forma adequada, minimizando possíveis efeitos de curva de aprendizagem ou ansiedade tecnológica.

Adicionalmente, investigou-se o uso prévio de softwares interativos, jogos digitais e simulações tridimensionais, com o objetivo de compreender a predisposição dos participantes para tarefas imersivas. Observou-se que indivíduos com maior experiência nesses contextos apresentaram maior facilidade na exploração dos ambientes virtuais, enquanto aqueles com menor familiaridade demandaram maior suporte inicial.

Também foi analisada a experiência prévia com tecnologias de monitoramento fisiológico. Nenhum participante relatou contato significativo com equipamentos de EEG ou dispositivos biométricos, o que reforçou a necessidade de instruções detalhadas sobre o uso do sistema de aquisição de sinais. Essa preparação contribuiu para reduzir possíveis interferências relacionadas à ansiedade ou ao desconhecimento da tecnologia durante a coleta de dados.

A análise do histórico de experiência tecnológica permitiu identificar fatores que podem atuar como variáveis moderadoras na interpretação dos resultados. A familiaridade com tecnologias digitais e ambientes virtuais pode influenciar o nível de engajamento e a forma como os estímulos são percebidos, sendo, portanto, um aspecto relevante para contextualizar as respostas emocionais e neurofisiológicas observadas.

Dessa forma, a caracterização do perfil tecnológico dos participantes contribui para uma análise mais consistente dos dados, permitindo considerar possíveis influências individuais na interação com os ambientes de RV e na resposta aos estímulos experimentais.

5.1.3 Análise de Dados de Saúde Mental e Bem-estar Pré-experimento

Antes do início das sessões experimentais, os participantes foram submetidos a uma avaliação de saúde mental e bem-estar emocional, com o objetivo de estabelecer uma linha de base individual para contextualização dos dados neurofisiológicos coletados. Para isso, foram utilizados instrumentos psicométricos validados, incluindo escalas de ansiedade (STAI – State-Trait Anxiety Inventory), depressão (BDI – Beck Depression Inventory), estresse percebido (PSS – Perceived Stress Scale) e qualidade de vida (WHOQOL-BREF), permitindo uma análise multidimensional do estado emocional dos participantes (Cohen et al., 1983; Beck et al., 1996; WHO, 1998).

Os resultados evidenciaram variabilidade entre os participantes em relação aos níveis de ansiedade, estresse e humor. Aproximadamente 40% da amostra apresentou níveis moderados de ansiedade e estresse, enquanto 20% relataram sintomas leves de depressão. A qualidade de vida autodeclarada apresentou valores compatíveis com padrões populacionais gerais, embora tenham sido observadas variações em domínios específicos, como bem-estar

psicológico e social.

Adicionalmente, foram registrados indicadores fisiológicos basais, incluindo frequência cardíaca, pressão arterial e padrões de EEG em repouso, nas condições de olhos abertos e fechados. Esses dados forneceram parâmetros de referência para a análise comparativa das respostas obtidas durante a exposição aos cenários experimentais. Também foram coletadas informações relacionadas a hábitos de sono, rotina diária e percepção geral de bem-estar, considerando que tais fatores podem influenciar a variabilidade das respostas emocionais e neurofisiológicas. Esses dados foram utilizados de forma complementar na interpretação dos resultados.

Para a análise dos dados, foram aplicados procedimentos de estatística descritiva, incluindo cálculo de média, desvio padrão, mediana e amplitude. Testes de normalidade (Shapiro-Wilk) foram utilizados para verificar a distribuição dos dados, auxiliando na escolha de métodos estatísticos apropriados para Análise subsequentes (FIELD, 2018).

Observou-se ainda que participantes com maior familiaridade com tecnologias digitais apresentaram, em média, menores níveis de ansiedade pré-experimental, sugerindo uma possível associação entre experiência tecnológica e conforto em ambientes virtuais. Durante a fase inicial, alguns participantes relataram preocupações relacionadas ao uso de equipamentos de RV e EEG, como desconforto físico ou receio de efeitos adversos. Para minimizar esses fatores, foram realizadas instruções detalhadas e uma etapa de familiarização com os equipamentos, contribuindo para a padronização das condições experimentais.

Dessa forma, a avaliação prévia do estado emocional e fisiológico dos participantes fornece subsídios importantes para a interpretação dos dados, permitindo considerar fatores individuais que podem influenciar as respostas observadas durante as sessões experimentais.

5.2 Implementação do Ambiente Virtual e Integração com EEG

5.2.1 Testes de Normalidade

Com o objetivo de verificar o comportamento estatístico das variáveis extraídas dos sinais eletroencefalográficos, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todas as condições experimentais do estudo, nomeadamente: Olhos Abertos (AB), Olhos Fechados (FE) e RV Realidade virtual.

Este procedimento é fundamental em Análise estatísticas envolvendo dados biomédicos, uma vez que a escolha dos testes inferenciais subsequentes depende diretamente da suposição

de normalidade da distribuição dos dados.

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado individualmente para cada participante e condição experimental, considerando as características dos sinais EEG após o pré-processamento (filtragem e segmentação). O teste avalia a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal.

- **H₀ (hipótese nula):** Os dados seguem uma distribuição normal.
- **H₁ (hipótese alternativa):** Os dados não seguem uma distribuição normal.

O nível de significância adotado foi de $\alpha = 0,05$.

Os resultados indicaram que, para todas as condições experimentais (AB, FE e RV) e para todos os participantes analisados, os valores de **p** foram consistentemente inferiores ao nível de significância estabelecido ($p < 0,05$).

Além disso, em múltiplos casos observou-se a ocorrência de valores de **p** extremamente baixos (por exemplo, na ordem de $p < 1e-10$), o que representa uma forte evidência estatística contra a hipótese de normalidade.

Esses resultados foram consistentes ao longo de todo o conjunto de dados, independentemente da condição experimental ou do participante avaliado, sugerindo um padrão robusto de não normalidade nos sinais derivados do EEG.

Dado que, em todos os testes realizados, os valores de **p** foram inferiores a 0,05, rejeita-se a hipótese nula (H₀) de normalidade dos dados.

Portanto, conclui-se que: Os dados EEG não seguem distribuição normal em nenhuma das condições experimentais analisadas (AB, FE e RV).

A não normalidade dos dados possui implicações diretas na escolha das técnicas estatísticas utilizadas nas etapas subsequentes da análise. Assim, recomenda-se o uso de abordagens não paramétricas, mais adequadas para distribuições não gaussianas, ou métodos robustos que não dependam estritamente da suposição de normalidade.

Além disso, este comportamento é coerente com a natureza dos sinais EEG, que são intrinsicamente não lineares, não estacionários e altamente variáveis entre indivíduos, especialmente em contextos de estímulos emocionais e ambientes imersivos como a RV.

Dessa forma, a confirmação da não normalidade reforça a necessidade de métodos estatísticos mais robustos e adequados à complexidade dos dados neurofisiológicos analisados neste estudo.

5.3 Inferência e classificação dos estados emocionais a partir do EEG

A inferência dos estados emocionais dos participantes foi realizada com base na análise dos sinais EEG coletados durante as diferentes condições experimentais, a saber: olhos abertos (baseline), olhos fechados (estado de repouso) e exposição a ambientes de RV. A abordagem adotada fundamenta-se na extração de características espectrais dos sinais, especialmente a densidade espectral de potência (PSD), associada às bandas de frequência cerebrais, permitindo a identificação de padrões neurofisiológicos relacionados a diferentes estados emocionais.

Diferentemente de abordagens baseadas exclusivamente em classificadores supervisionados, este estudo adota uma estratégia de inferência emocional baseada em padrões neurofisiológicos, considerando a relação consolidada na literatura entre as bandas de frequência do EEG e estados cognitivos e emocionais. Dessa forma, a classificação dos estados emocionais foi conduzida por meio de uma abordagem híbrida, combinando interpretação categórica (discreta) e modelagem dimensional.

5.3.1 Análise descritiva dos sinais EEG por condição experimental

Após o pré-processamento e organização dos dados EEG, foi realizada uma análise descritiva inicial com o objetivo de compreender o comportamento geral dos sinais em cada condição experimental (AB, FE e RV). Esta etapa é fundamental para identificar padrões globais de variação, estabilidade e possíveis diferenças qualitativas entre os estados neurofisiológicos induzidos durante o experimento.

A análise descritiva foi conduzida considerando os sinais já filtrados (0.5–40 Hz), garantindo que apenas as componentes relevantes para atividade cerebral fossem mantidas, minimizando interferências de baixa e alta frequência. De forma global, observou-se que as três condições experimentais apresentaram padrões distintos de variabilidade e estabilidade do sinal EEG, coerentes com a natureza dos estímulos aplicados:

- **AB (Olhos Abertos):** A condição de olhos abertos observa-se um aumento relativo da atividade beta (β) em relação ao FE, acompanhado de uma redução da dominância alfa. Este comportamento sugere maior envolvimento atencional e processamento sensorial contínuo, refletindo interação ativa com o ambiente externo.
- **FE (Olhos Fechados):** Apresentou, de forma geral, maiores valores de atividade alfa (α) em comparação com as demais condições. Este padrão é consistente com estados de

relaxamento cortical e redução de estímulos sensoriais externos, indicando maior predominância de atividade associada ao repouso e menor carga cognitiva

- **RV (Realidade Virtual):** A condição de RV apresentou um padrão mais dinâmico e heterogêneo, com aumento simultâneo de beta em diversos participantes, indicando maior carga cognitiva e possível envolvimento emocional. Este comportamento sugere que o ambiente imersivo de RV induz estados cerebrais mais complexos, combinando atenção, processamento emocional e adaptação sensorial.

De forma geral:

- **FE** → Maior relaxamento (α dominante)
- **AB** → Estado de atenção ativa (β moderado)
- **RV** → Maior complexidade neurofisiológica (β elevados)

As diferenças qualitativas observadas entre as condições podem ser interpretadas à luz da neurociência cognitiva e afetiva. Em termos gerais:

- Condições com maior estímulo externo (AB e RV) tendem a apresentar maior variabilidade cortical.
- Condições de menor estímulo sensorial (FE) tendem a apresentar maior estabilidade do sinal EEG.
- A condição RV se destaca por combinar estímulos sensoriais e emocionais, resultando em padrões mais heterogêneos de atividade cerebral.

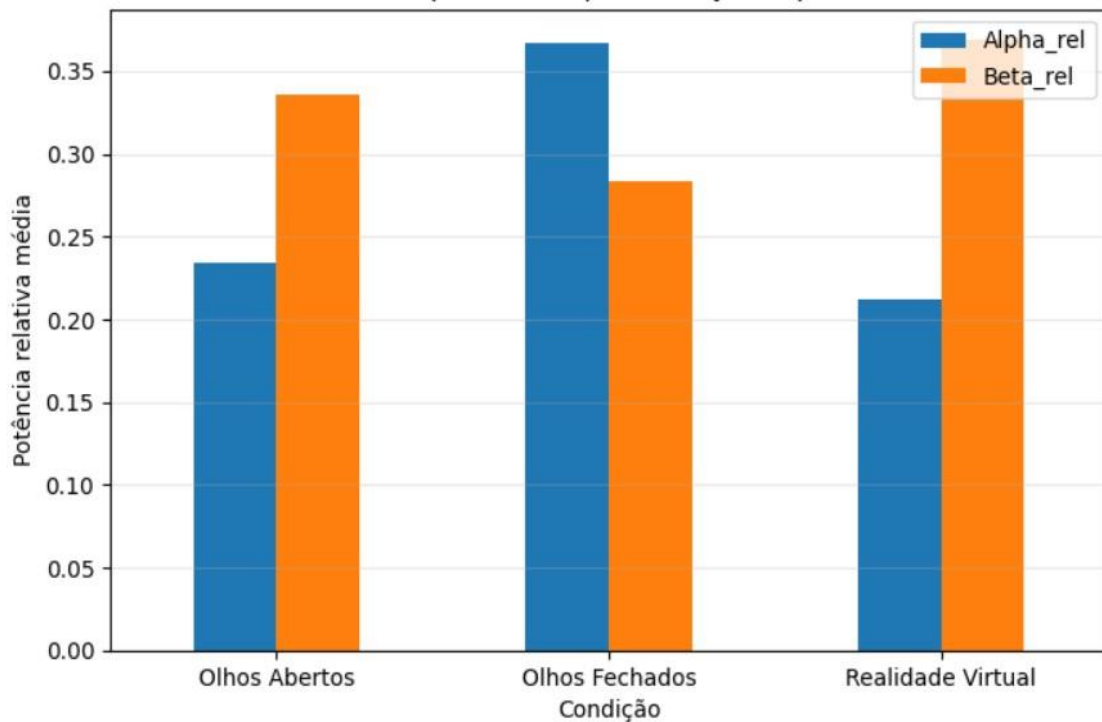
É importante destacar que todos os sinais analisados nesta etapa foram previamente submetidos a:

- Filtragem passa-banda (0.5–40 Hz)
- Remoção de ruído de baixa e alta frequência
- Padronização por participante e condição experimental

Dessa forma, as diferenças observadas refletem predominantemente características neurofisiológicas associadas às condições experimentais, e não artefatos de aquisição ou ruído do sinal. A análise descritiva dos sinais de EEG evidencia que as três condições experimentais olhos abertos (AB), olhos fechados (FE) e Realidade Virtual (RV) apresentam padrões distintos

de comportamento neurofisiológico, sugerindo que os estímulos aplicados são capazes de induzir variações mensuráveis na atividade cerebral dos participantes. A Figura 5.1 apresenta a média dos sinais registrados em cada condição experimental, permitindo uma comparação geral entre as respostas eletroencefalográficas obtidas ao longo do protocolo.

Figura 5.1 - Media de comparação das condições experimentais dos participantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir da comparação das médias, observa-se que cada condição experimental apresenta um comportamento característico da atividade elétrica cerebral, evidenciando diferenças consistentes entre os estados de repouso com olhos abertos, repouso com olhos fechados e exposição ao ambiente de Realidade Virtual. Esses resultados corroboram a capacidade do protocolo experimental em produzir respostas neurofisiológicas distintas, fornecendo subsídios para as análises estatísticas e de classificação apresentadas nas seções seguintes.

5.3.2 Classificação Emocional Categórica (Discreta)

A classificação categórica foi estruturada em três estados emocionais principais, definidos a partir das condições experimentais e dos padrões observados nas bandas de frequência:

- Relaxamento
- Estado Neutro (ou atenção basal)
- Estresse/Ansiedade (alta ativação emocional)

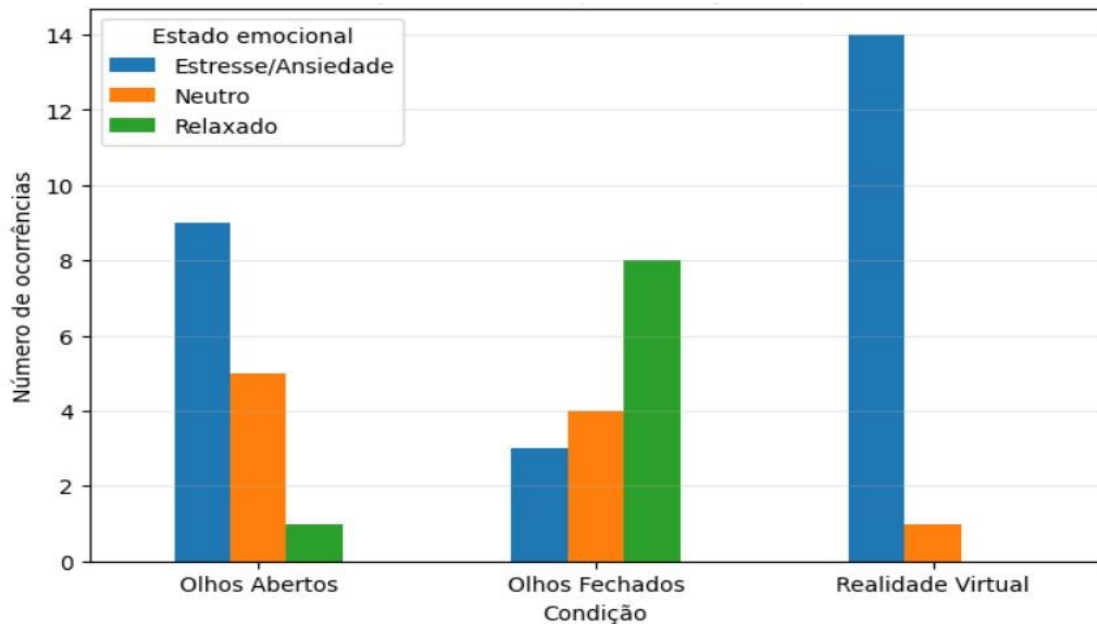
A condição de olhos fechados apresentou predominância de atividade na banda alfa (8–13 Hz), tradicionalmente associada a estados de relaxamento e redução da carga cognitiva. Esse padrão indica um estado de baixa excitação fisiológica, caracterizando o relaxamento.

Na condição de olhos abertos, observou-se uma distribuição mais equilibrada entre as bandas alfa e beta, indicando um estado de vigília leve e atenção basal. Esse comportamento é compatível com um estado emocional neutro, sem predominância de excitação ou relaxamento profundo.

Por sua vez, a condição de RV apresentou aumento significativo da atividade na banda beta (13–30 Hz), frequentemente associada a maior ativação cognitiva, atenção sustentada e, em alguns casos, respostas relacionadas ao estresse ou excitação emocional. Esse padrão sugere um estado de maior engajamento emocional e fisiológico.

A distribuição das ocorrências dos estados emocionais identificados durante os experimentos é apresentada na Figura 5.2. Observa-se que, na condição de olhos abertos, houve predominância de classificações associadas ao estado de estresse/ansiedade. Na condição de olhos fechados, verificou-se um aumento significativo das ocorrências classificadas como relaxado, indicando uma tendência à redução da ativação emocional. Entretanto, ainda foram registradas algumas ocorrências classificadas como estresse/ansiedade. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o fechamento dos olhos não implica necessariamente um estado de relaxamento, uma vez que fatores como expectativa em relação ao experimento, pensamentos espontâneos, preocupações pessoais ou adaptação ao ambiente experimental podem influenciar a atividade cerebral registrada pelo EEG. Já na condição de Realidade Virtual, observou-se predominância das classificações de estresse/ansiedade, sugerindo que os estímulos visuais e auditivos do cenário virtual foram capazes de promover maior ativação emocional nos participantes, conforme esperado para esse ambiente experimental.

Figura 5.2 -Classificação emocional por condição experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.3.3 Classificação dimensional dos estados das emoções

Além da classificação categórica, os estados emocionais foram analisados com base no modelo dimensional proposto por James A. Russell, que representa as emoções a partir de dois eixos principais: valência (variando de estados negativos a positivos) e excitação ou arousal (variando de baixa a alta ativação fisiológica).

A inferência dessas dimensões foi realizada com base nos padrões observados nas bandas de frequência do EEG, considerando evidências consolidadas na literatura que associam a atividade cerebral a diferentes estados emocionais. Em particular, níveis elevados de atividade na banda alfa foram associados a estados de relaxamento (baixa excitação), enquanto o aumento da atividade na banda beta foi interpretado como indicativo de maior ativação cognitiva e emocional (alto arousal).

Os resultados indicam que a condição de olhos fechados está associada a baixos níveis de excitação fisiológica e predominância de padrões neurais compatíveis com relaxamento, refletidos pelo aumento da atividade na banda alfa. Em contraste, a condição de RV apresentou elevação da atividade em bandas associadas à atenção e processamento cognitivo, sugerindo maior nível de excitação (arousal) e engajamento emocional.

A valência emocional na condição de RV mostrou-se dependente das características dos cenários virtuais apresentados, podendo assumir tanto aspectos positivos quanto negativos. No

entanto, independentemente da valência, observou-se um aumento consistente na ativação neurofisiológica dos participantes, indicando que a RV atua como um estímulo eficaz na modulação do estado emocional.

Esses resultados reforçam a adequação do modelo dimensional para a análise de emoções em sinais de EEG, permitindo uma representação mais contínua e sensível das variações emocionais em comparação com abordagens puramente categóricas.

Índice de arousal EEG (β/α)

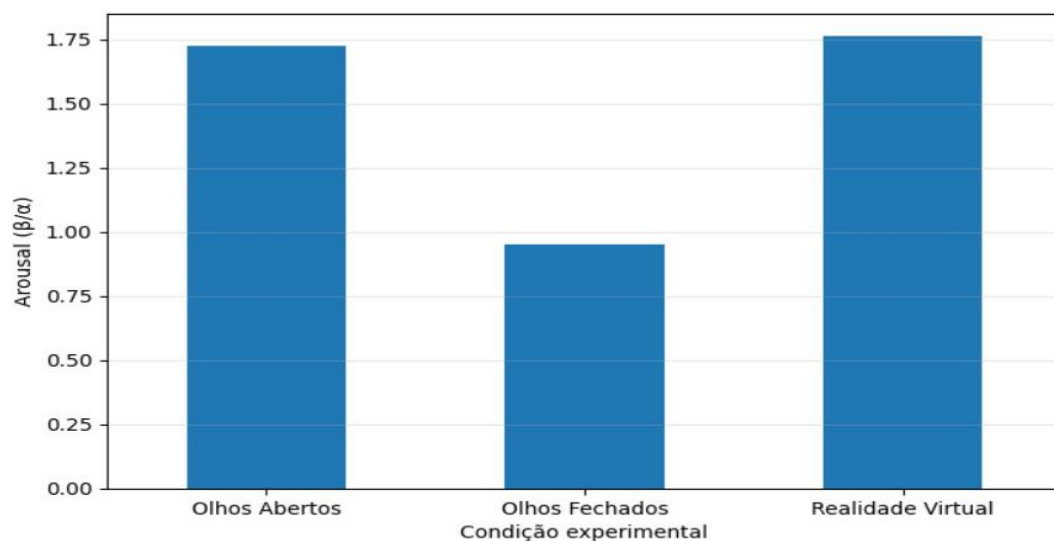
O índice de arousal foi calculado a partir da razão entre a atividade beta (β) e alfa (α), sendo amplamente utilizado na literatura como um indicador indireto de ativação cortical e excitação emocional.

Os resultados indicam que:

- **Olhos Fechados (FE)** → Menor arousal (predominância alfa)
- **Olhos Abertos (AB)** → Arousal intermédio (equilíbrio α/β)
- **Realidade Virtual (RV)** → Maior arousal (aumento relativo de beta)

Esses achados sugerem que ambientes imersivos de RV são capazes de induzir maior ativação cortical e engajamento neurofisiológico quando comparados às condições tradicionais de estimulação sensorial conforme apresentado na Figura 5.3

Figura 5.3 - Índice do arousal por condição experimental dos participantes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.4 Discussão dos resultados Neurofisiológicos

5.4.1 Comparação entre Condições Experimentais

A análise comparativa entre as diferentes condições experimentais olhos abertos (AB), olhos fechados (FE) e Realidade Virtual (RV) evidencia diferenças marcantes na dinâmica dos sinais de EEG, refletindo distintos níveis de processamento sensorial, carga cognitiva e engajamento emocional. Esses achados reforçam a sensibilidade do EEG como ferramenta para capturar variações finas no estado mental dos participantes.

Condição de Olhos Abertos (AB)

A condição de olhos abertos apresentou maior variabilidade nos sinais de EEG quando comparada à condição de olhos fechados, o que pode ser diretamente atribuído ao aumento do processamento sensorial visual e à interação contínua com o ambiente externo. Do ponto de vista neurofisiológico, essa condição está associada à ativação do córtex visual occipital e de áreas relacionadas à atenção, resultando em maior predominância da atividade na banda beta (13–30 Hz). A banda beta é amplamente relacionada a estados de vigília, atenção sustentada e processamento cognitivo ativo.

Além disso, a presença de estímulos visuais constantes promove uma redução da atividade alfa (fenômeno conhecido como bloqueio alfa), caracterizado pela supressão das oscilações nessa faixa de frequência quando o indivíduo está engajado com o ambiente. Esse efeito é um marcador clássico da transição entre estados de repouso e estados de processamento ativo.

Condição de Olhos Fechados (FE)

A condição de olhos fechados demonstrou um padrão significativamente mais estável e organizado dos sinais de EEG, com predominância clara da atividade na banda alfa (8–13 Hz). Esse resultado é consistente com a literatura clássica da neurofisiologia, que associa a atividade alfa a estados de relaxamento, repouso acordado e redução da entrada sensorial externa.

O fechamento dos olhos reduz drasticamente a carga sensorial visual, permitindo que o cérebro opere em um regime mais interno e menos reativo a estímulos externos. Como consequência, há um aumento da sincronização neural, especialmente em regiões occipitais e parietais, resultando em sinais mais regulares e com menor variabilidade temporal.

Do ponto de vista funcional, esse estado pode ser interpretado como um modo de economia cognitiva, no qual o cérebro reduz o processamento de informações externas e favorece processos internos, como imaginação, memória e autorregulação emocional.

Condição de Realidade Virtual (RV)

A condição de Realidade Virtual apresentou o maior nível de variabilidade entre todas as condições analisadas, indicando um estado de elevada complexidade neurofisiológica. Esse resultado pode ser explicado pela combinação simultânea de múltiplos fatores, incluindo a exposição a estímulos visuais e auditivos imersivos, o elevado nível de presença proporcionado pelo ambiente virtual, o aumento da demanda cognitiva necessária para o processamento da cena e o envolvimento emocional decorrente da experiência imersiva.

A RV ativa simultaneamente diversas redes neurais relacionadas à percepção, atenção, integração sensorial e processamento emocional, produzindo padrões eletroencefalográficos mais dinâmicos quando comparados às condições de repouso. Do ponto de vista das bandas de frequência, observa-se, em geral, aumento da atividade beta, associado ao estado de atenção e processamento ativo das informações; modulação da atividade alfa, relacionada ao nível de relaxamento e ao grau de imersão; e incremento da atividade theta, frequentemente associado ao processamento cognitivo, à memória de trabalho e ao envolvimento emocional.

Essa coexistência de múltiplos padrões oscilatórios contribui para maior dispersão estatística dos dados, frequentemente resultando em distribuições não normais e maior variabilidade entre os participantes. Além disso, a natureza dinâmica da RV favorece alterações contínuas na atividade cerebral ao longo da experiência imersiva.

No contexto do presente estudo, o cenário de Realidade Virtual foi desenvolvido para promover um ambiente natural de relaxamento, composto por elementos como vegetação, iluminação suave e sons da natureza. Embora o objetivo principal tenha sido induzir um estado de relaxamento, a literatura demonstra que ambientes imersivos dessa natureza também podem despertar outras respostas emocionais, como sensação de presença, curiosidade, bem-estar, interesse e contemplação. Em alguns participantes, a novidade tecnológica da experiência pode ainda provocar surpresa inicial e aumento temporário do estado de alerta, principalmente nos primeiros momentos da exposição. Essas diferentes respostas emocionais tendem a ocorrer de forma individualizada e influenciam diretamente a dinâmica dos sinais de EEG, contribuindo para a variabilidade observada entre os participantes.

Do ponto de vista neurofisiológico, estados de relaxamento costumam estar associados

ao aumento da atividade alfa, refletindo redução da ativação cortical e maior estado de repouso consciente. Em contrapartida, estados relacionados à curiosidade, atenção e exploração do ambiente virtual tendem a aumentar a atividade beta, enquanto o envolvimento emocional e o processamento da experiência imersiva podem favorecer alterações na banda theta. Dessa forma, os diferentes estados emocionais potencialmente induzidos pelo ambiente virtual explicam a coexistência de padrões oscilatórios distintos observados durante a condição de RV.

Do ponto de vista teórico, esses resultados são consistentes com modelos de integração multissensorial e com a hipótese de que ambientes virtuais imersivos promovem um estado de elevado engajamento neural, no qual múltiplos sistemas cerebrais operam de forma simultânea e adaptativa.

5.5 Avaliação Emocional e Cognitiva

5.5.1 Discussão Sobre Eficácia da RV em Induzir Estados Emocionais Positivos

A análise integrada dos resultados obtidos ao longo da experimentação demonstra que a Realidade Virtual constitui uma ferramenta promissora para a indução e o monitoramento de estados emocionais em ambientes imersivos. A combinação entre os dados neurofisiológicos obtidos por meio do EEG e as informações provenientes da avaliação subjetiva dos participantes permitiu compreender, de forma complementar, os efeitos da experiência sobre os aspectos cognitivos e emocionais, oferecendo uma visão mais abrangente das respostas humanas durante a interação com o ambiente virtual.

Sob a perspectiva neurofisiológica, a condição de Realidade Virtual apresentou maior complexidade e variabilidade dos sinais de EEG em comparação às condições de olhos abertos e olhos fechados. Conforme discutido anteriormente, esse comportamento pode ser explicado pelo recrutamento simultâneo de diferentes redes neurais envolvidas no processamento sensorial, na atenção, na integração multissensorial e no processamento emocional. Assim, a maior variabilidade observada representa uma resposta esperada diante da natureza dinâmica da experiência imersiva, não devendo ser interpretada como ruído experimental.

A análise das bandas de frequência reforça essa interpretação. A predominância da atividade alfa em determinados momentos está associada a estados de relaxamento e menor carga sensorial, enquanto o aumento da atividade beta evidencia maior atenção e processamento cognitivo durante a exploração do ambiente virtual. Adicionalmente, oscilações na banda theta

podem estar relacionadas ao processamento emocional e ao aumento da demanda cognitiva provocado pelos estímulos apresentados. Essa alternância entre diferentes padrões oscilatórios demonstra que a experiência em Realidade Virtual promove adaptações contínuas da atividade cerebral em função da interação do participante com o ambiente virtual.

A avaliação subjetiva, realizada por meio de entrevistas semiestruturadas aplicadas após a experiência, complementou os resultados neurofisiológicos ao permitir identificar as percepções individuais dos participantes sobre o uso da Realidade Virtual associada ao EEG. As respostas obtidas evidenciaram aspectos relacionados ao conforto durante a utilização dos equipamentos, à facilidade de interação com o ambiente virtual, ao nível de imersão percebido e às mudanças emocionais experimentadas ao longo da sessão.

Os relatos dos participantes indicaram que a experiência foi percebida como confortável e envolvente, favorecendo sensações de relaxamento, curiosidade e aumento da atenção durante a exploração do ambiente virtual. Além disso, diversos participantes destacaram que a imersão proporcionada pela Realidade Virtual contribuiu para maior concentração e redução das distrações externas, favorecendo o direcionamento da atenção para os estímulos presentes no cenário virtual. Essas percepções são compatíveis com os padrões observados nos sinais de EEG, especialmente com a modulação das bandas alfa e beta ao longo da experiência.

Outro aspecto relevante observado nas entrevistas foi a percepção de potencial aplicação da tecnologia em contextos relacionados à saúde mental. A maioria dos participantes considerou que a integração entre Realidade Virtual e EEG pode representar uma ferramenta útil para o acompanhamento de estados emocionais e para o desenvolvimento de estratégias de apoio ao bem-estar psicológico. Também foram apresentadas sugestões para o aprimoramento do sistema, incluindo maior diversidade de cenários virtuais, ampliação das possibilidades de interação e mecanismos que permitam adaptar a experiência às características individuais de cada usuário.

A integração entre os resultados objetivos obtidos pelo EEG e os relatos subjetivos dos participantes fortalece a interpretação dos achados desta pesquisa. Enquanto os sinais eletroencefalográficos permitem identificar alterações na atividade cerebral durante a experiência imersiva, as entrevistas possibilitam compreender como essas alterações foram percebidas pelos próprios participantes. Essa complementaridade evidencia a importância da utilização de abordagens multimodais para a investigação das respostas emocionais humanas, permitindo uma análise mais abrangente da interação entre processos cognitivos, emocionais e fisiológicos.

De forma geral, os resultados obtidos reforçam o potencial da Realidade Virtual como

ferramenta de apoio ao monitoramento emocional em ambientes imersivos. A associação entre ambientes virtuais e eletroencefalografia mostrou-se capaz de fornecer informações relevantes sobre a dinâmica da atividade cerebral durante a experiência, ao mesmo tempo em que permitiu compreender as percepções dos participantes sobre conforto, imersão e alterações emocionais. Esses achados evidenciam o potencial dessa abordagem para futuras aplicações em saúde mental, treinamento, reabilitação e desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de adaptar a experiência virtual às respostas neurofisiológicas e emocionais dos usuários.

5.6 Viabilidade Prática e Técnica da Intervenção

5.6.1 Experiência do Usuário com RV e EEG

A experiência do usuário constitui um dos pilares centrais para a avaliação da viabilidade prática e técnica de intervenções baseadas em RV acopladas ao monitoramento por EEG (EEG). Para além do desempenho tecnológico, trata-se de uma interação complexa entre fatores físicos, cognitivos e emocionais, na qual aspectos como conforto, usabilidade e imersão influenciam diretamente tanto a qualidade dos dados coletados quanto a eficácia da intervenção. Nesse contexto, a análise da experiência dos participantes foi conduzida de forma sistemática, considerando dimensões como ergonomia, facilidade de uso, sensação de presença, fadiga e aceitação subjetiva.

De maneira geral, os participantes relataram níveis elevados de imersão durante a exposição aos ambientes virtuais, descrevendo a experiência como envolvente, inovadora e capaz de induzir uma forte sensação de presença. Esse resultado está em consonância com a literatura sobre RV, que aponta a imersão como um fator determinante para o engajamento emocional e cognitivo. A integração de estímulos multimodais — especialmente visuais e auditivos — contribuiu significativamente para o realismo da experiência, favorecendo a desconexão do ambiente físico e o foco atencional no cenário virtual. Esse aspecto é particularmente relevante no contexto deste estudo, uma vez que maior imersão tende a amplificar as respostas neurofisiológicas observadas, conforme evidenciado na condição de RV nas seções anteriores.

Apesar dos resultados positivos, foram identificados alguns pontos de limitação relacionados ao conforto físico. Parte dos participantes relatou desconforto leve associado ao uso prolongado do headset de RV, incluindo pressão na região frontal da cabeça e sensação de

aquecimento do dispositivo. De forma semelhante, a utilização dos eletrodos de EEG foi, em geral, bem tolerada, mas ocasionalmente descrita como incômoda, sobretudo devido ao uso de gel condutor e à pressão exercida pela touca de aquisição. Esses fatores, embora não tenham inviabilizado a coleta de dados, podem influenciar a experiência subjetiva e, em casos mais intensos, impactar a estabilidade dos sinais neurofisiológicos.

No que se refere à usabilidade, a interface do ambiente virtual foi amplamente considerada intuitiva e acessível, não exigindo conhecimento técnico prévio por parte dos participantes. Ainda assim, observou-se a necessidade de um breve período de adaptação inicial, especialmente em tarefas que envolviam orientação espacial tridimensional e interação com elementos virtuais. Esse comportamento é esperado em ambientes imersivos e reforça a importância de incluir fases de familiarização nos protocolos experimentais, visando reduzir variabilidades associadas ao aprendizado do sistema.

Do ponto de vista técnico, um dos principais desafios identificados foi a manutenção da qualidade dos sinais de EEG durante a interação com o ambiente virtual. Movimentos de cabeça, bem como ajustes no posicionamento do headset, foram responsáveis pela introdução de artefatos nos registros eletrofisiológicos. Esses artefatos podem comprometer a análise mais sensíveis, especialmente considerando a natureza não linear e não estacionária dos sinais de EEG discutida anteriormente. Como estratégias de mitigação, destacam-se o uso de sistemas de fixação mais estáveis, melhorias no acoplamento entre headset e sensores, bem como o desenvolvimento de algoritmos avançados de filtragem e remoção de artefatos em tempo real.

Apesar dessas limitações, a avaliação global da experiência foi altamente positiva. Os participantes demonstraram elevada aceitação da integração entre RV e EEG, percebendo-a como uma abordagem inovadora, interessante e potencialmente útil. Esse nível de aceitação é um indicativo importante de viabilidade prática, especialmente quando se consideram aplicações futuras em contextos terapêuticos, educacionais e de treinamento cognitivo.

Adicionalmente, a experiência imersiva foi associada a benefícios subjetivos relevantes, como aumento do foco atencional, redução de distrações externas e maior engajamento com a tarefa proposta. Esses efeitos estão alinhados com os achados neurofisiológicos discutidos anteriormente, nos quais a condição de RV apresentou maior ativação cortical e variabilidade dinâmica, refletindo estados de maior envolvimento cognitivo e emocional.

A análise da experiência do usuário também revela implicações importantes para o desenvolvimento de sistemas futuros. A necessidade de otimização ergonômica, redução de desconfortos físicos e aprimoramento da estabilidade dos sinais destaca a importância de uma abordagem centrada no usuário no design de soluções baseadas em neurotecnologia. Além

disso, a integração entre dados subjetivos e objetivos conforme explorado na triangulação multimodal reforça a importância de considerar simultaneamente percepção e fisiologia na avaliação de sistemas imersivos.

Em síntese, os resultados confirmam que a integração entre RV e EEG é não apenas tecnicamente viável, mas também bem aceita pelos usuários, apresentando elevado potencial de aplicação. A experiência do usuário, quando adequadamente considerada e otimizada, torna-se um elemento-chave para garantir a eficácia, a confiabilidade e a escalabilidade de intervenções baseadas em ambientes virtuais imersivos.

5.6.2 Considerações Sobre Implementação em Contexto Clínico

A implementação de uma intervenção baseada na integração entre RV (RV) e EEG (EEG) em contextos clínicos envolve múltiplos fatores que vão além das questões técnicas e experimentais. O ambiente clínico apresenta especificidades que exigem adaptações metodológicas, logísticas e éticas, a fim de garantir tanto a viabilidade prática quanto a eficácia terapêutica da proposta. Nesse contexto, a análise de aplicabilidade clínica requer a consideração de aspectos relacionados à infraestrutura, capacitação profissional, protocolos de uso, segurança do paciente e aceitação tecnológica.

Do ponto de vista infraestrutural, a adoção dessa tecnologia demanda ambientes adequadamente preparados, com controle de ruído, climatização, rede elétrica estável e baixa interferência eletromagnética, fatores essenciais para a qualidade do sinal EEG e para a imersão na experiência virtual. Além disso, devem ser considerados os custos associados à aquisição, manutenção e operação dos equipamentos, incluindo calibração periódica, higienização dos sensores e substituição de componentes consumíveis, como eletrodos e gel condutor, impactando diretamente a análise de custo-benefício da implementação.

A capacitação profissional constitui outro aspecto fundamental. A operação integrada de sistemas de RV e EEG requer conhecimentos multidisciplinares, incluindo processamento de sinais, configuração de dispositivos, interpretação de dados neurofisiológicos e aplicação de protocolos clínicos. Dessa forma, equipes clínicas devem ser devidamente treinadas ou contar com o suporte de profissionais especializados, como engenheiros biomédicos e neurocientistas, além de médicos e psicólogos.

A segurança e o conforto do paciente representam preocupações centrais, especialmente considerando populações clínicas potencialmente vulneráveis. Fatores como ciberdoença (*motion sickness*), desconforto físico e fadiga mental devem ser monitorados continuamente.

Protocolos clínicos devem incluir critérios de interrupção, pausas regulares e avaliação do estado fisiológico e emocional dos pacientes durante a intervenção.

Adicionalmente, aspectos éticos e regulatórios são indispensáveis para a implementação clínica. A coleta e o processamento de dados neurofisiológicos devem estar em conformidade com diretrizes éticas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde, especialmente a Resolução nº 466/12, bem como com a Lei Geral de Proteção de Dados e regulamentações da ANVISA, garantindo a proteção de dados sensíveis, o consentimento informado e a segurança das informações dos pacientes.

Outro fator relevante refere-se à aceitação clínica e social da tecnologia. A integração entre RV e EEG ainda enfrenta barreiras de adoção tecnológica, tanto por parte de pacientes quanto de profissionais de saúde, frequentemente associadas à complexidade dos sistemas e à necessidade de evidências clínicas robustas. Nesse sentido, estratégias de treinamento, sensibilização e validação científica são essenciais para promover a confiança e ampliar a adoção da tecnologia.

Por fim, considerando as limitações e ajustes identificados no presente estudo, observa-se que a implementação em contexto clínico requer uma abordagem integrada que contemple aspectos técnicos, humanos e regulatórios. A adoção dessas práticas contribui para a consolidação de sistemas baseados em RV e EEG como ferramentas inovadoras e potencialmente eficazes no apoio a intervenções terapêuticas.

5.7 Impactos Sobre a Saúde Mental e Bem-Estar Emocional

5.7.1 Alterações Observadas em Medidas de Ansiedade e Relaxamento

A implementação de uma intervenção baseada na integração entre RV e EEG em contextos clínicos envolve múltiplos fatores que vão além das questões técnicas e experimentais. O ambiente clínico apresenta especificidades que exigem adaptações metodológicas, logísticas e éticas, a fim de garantir tanto a viabilidade prática quanto a eficácia terapêutica da proposta. Nesse contexto, a análise de aplicabilidade clínica requer a consideração de aspectos relacionados à infraestrutura, capacitação profissional, protocolos de uso, segurança do paciente e aceitação tecnológica.

Do ponto de vista infraestrutural, a adoção dessa tecnologia demanda ambientes adequadamente preparados, com controle de ruído, climatização, rede elétrica estável e baixa interferência eletromagnética, fatores essenciais para a qualidade do sinal EEG e para a imersão

na experiência virtual. Além disso, devem ser considerados os custos associados à aquisição, manutenção e operação dos equipamentos, incluindo calibração periódica, higienização dos sensores e substituição de componentes consumíveis, como eletrodos e gel condutor, impactando diretamente a análise de custo-benefício da implementação.

A capacitação profissional constitui outro aspecto fundamental. A operação integrada de sistemas de RV e EEG requer conhecimentos multidisciplinares, incluindo processamento de sinais, configuração de dispositivos, interpretação de dados neurofisiológicos e aplicação de protocolos clínicos. Dessa forma, equipes clínicas devem ser devidamente treinadas ou contar com o suporte de profissionais especializados, como engenheiros biomédicos e neurocientistas, além de médicos e psicólogos.

A segurança e o conforto do paciente representam preocupações centrais, especialmente considerando populações clínicas potencialmente vulneráveis. Fatores como ciberdoença (*motion sickness*), desconforto físico e fadiga mental devem ser monitorados continuamente. Protocolos clínicos devem incluir critérios de interrupção, pausas regulares e avaliação do estado fisiológico e emocional dos pacientes durante a intervenção.

Adicionalmente, aspectos éticos e regulatórios são indispensáveis para a implementação clínica. A coleta e o processamento de dados neurofisiológicos devem estar em conformidade com diretrizes éticas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde, especialmente a Resolução nº 466/12, bem como com a Lei Geral de Proteção de Dados e regulamentações da ANVISA, garantindo a proteção de dados sensíveis, o consentimento informado e a segurança das informações dos pacientes.

Outro fator relevante refere-se à aceitação clínica e social da tecnologia. A integração entre RV e EEG ainda enfrenta barreiras de adoção tecnológica, tanto por parte de pacientes quanto de profissionais de saúde, frequentemente associadas à complexidade dos sistemas e à necessidade de evidências clínicas robustas. Nesse sentido, estratégias de treinamento, sensibilização e validação científica são essenciais para promover a confiança e ampliar a adoção da tecnologia.

Por fim, considerando as limitações e ajustes identificados no presente estudo, observa-se que a implementação em contexto clínico requer uma abordagem integrada que contemple aspectos técnicos, humanos e regulatórios. A adoção dessas práticas contribui para a consolidação de sistemas baseados em RV e EEG como ferramentas inovadoras e potencialmente eficazes no apoio a intervenções terapêuticas.

5.7.2 Efeitos Cognitivos e de Atenção Durante a Exposição aos Cenários

A exposição dos participantes aos ambientes virtuais monitorados por EEG revelou não apenas alterações nos estados emocionais, mas também impactos sobre processos cognitivos, especialmente aqueles relacionados à atenção sustentada e seletiva. Os dados obtidos sugerem uma tendência de melhora no foco atencional durante a imersão, acompanhada de redução da dispersão cognitiva. Esse efeito pode ser explicado pelo caráter altamente envolvente da RV, que tende a restringir distrações externas e direcionar a atenção para estímulos relevantes do ambiente (MAKRANSKY & PETERSEN, 2021; PARSONS et al., 2017).

No nível neurofisiológico, foi observada uma tendência de aumento da potência relativa das ondas teta em regiões frontais, particularmente associadas ao controle executivo, à memória de trabalho e à atenção dirigida. Esse padrão é consistente com achados da literatura que relacionam a atividade teta frontal medial à alocação de recursos atencionais (MITCHELL et al., 2008). No contexto deste estudo, esses resultados sugerem que a imersão em cenários virtuais pode favorecer processos de manutenção do foco e processamento cognitivo.

Do ponto de vista comportamental, as avaliações realizadas antes e após a exposição indicaram melhorias nos tempos de resposta em tarefas de atenção contínua, bem como aumento da precisão na identificação de estímulos-alvo. Embora esses resultados devam ser interpretados com cautela devido ao caráter exploratório do estudo, eles estão alinhados com evidências reportadas na literatura sobre o uso da RV no aprimoramento do desempenho cognitivo (MATAMALA-GOMEZ et al., 2019; CIPRESSO et al., 2018).

Outro aspecto relevante refere-se aos indícios de redução da fadiga mental, observados por meio de relatos qualitativos dos participantes. A experiência imersiva foi frequentemente descrita como mais estimulante e menos monótona em comparação a tarefas cognitivas tradicionais, o que está em consonância com estudos que apontam que a gamificação e os estímulos multimodais da RV podem aumentar a motivação intrínseca e o engajamento atencional (LOHSE et al., 2014; BACEVICIUTE et al., 2020). Esse fator é particularmente relevante em contextos clínicos e educacionais, nos quais a adesão às intervenções depende do nível de engajamento do indivíduo.

No entanto, algumas limitações também foram identificadas. Parte dos participantes apresentou sinais de sobrecarga cognitiva, especialmente em cenários com alta densidade de estímulos simultâneos. Esse fenômeno pode ser interpretado à luz da teoria da carga cognitiva, segundo a qual ambientes com excesso de informação podem comprometer a eficiência do processamento atencional (SWELLER, AYRES & KALYUGA, 2011). Assim, torna-se

necessária uma calibragem cuidadosa do design dos cenários virtuais, de modo a equilibrar riqueza sensorial e clareza das tarefas.

De maneira geral, os achados deste estudo sugerem que a integração entre RV e monitoramento por EEG apresenta potencial não apenas para influenciar estados emocionais, mas também para apoiar o desenvolvimento e a reabilitação de funções cognitivas, especialmente relacionadas à atenção. Esses resultados estão em consonância com tendências recentes da literatura que destacam a RV como uma ferramenta promissora na interface entre neurociência, psicologia cognitiva e aplicações clínicas (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016; PARSONS, 2021).

5.7.3 Discussão Sobre Potencial Terapêutico e Prevenção de Estresse

Os resultados obtidos a partir da exposição aos cenários virtuais monitorados por EEG apontam para um potencial terapêutico promissor da RV (RV) na promoção do relaxamento e na redução de indicadores associados ao estresse. Os dados sugerem que a experiência imersiva favoreceu respostas compatíveis com estados de relaxamento, acompanhadas por aumento relativo da atividade alfa, especialmente em regiões posteriores (parietais e occipitais), padrão frequentemente associado à redução da ativação cortical e a estados de calma (Klimesch, 2012). Esses achados estão alinhados com estudos prévios que apontam a RV como um recurso potencialmente eficaz no manejo de sintomas ansiosos e estressores cotidianos (MAPLES-KELLER et al., 2017; FREEMAN et al., 2017).

Do ponto de vista terapêutico, a RV apresenta vantagens em relação a métodos tradicionais de relaxamento e manejo do estresse. Por meio da imersão sensorial, é capaz de induzir estados de presença que favorecem o distanciamento psicológico de estímulos externos, criando um ambiente controlado que pode facilitar processos de autorregulação emocional (GORINI & RIVA, 2008). Essa característica sugere que a tecnologia pode contribuir tanto para intervenções terapêuticas quanto para estratégias preventivas voltadas à saúde mental. Além disso, estudos indicam que intervenções em RV podem ser integradas a abordagens já consolidadas, como a terapia cognitivo-comportamental, potencializando seus efeitos (CARL et al., 2019).

No contexto da prevenção de estresse ocupacional, evidências emergentes indicam que aplicações de RV em ambientes corporativos e educacionais podem contribuir para a redução de fadiga percebida, melhora da concentração e diminuição de tensão psicofisiológica. Sessões breves de exposição a ambientes virtuais têm sido investigadas como estratégias de recuperação

cognitiva e emocional em indivíduos submetidos a alta demanda mental (CHIRICO et al., 2020). Esse aspecto é particularmente relevante em setores como saúde, educação e tecnologia, nos quais há elevada incidência de estresse ocupacional.

Entretanto, alguns cuidados devem ser considerados. A implementação de intervenções baseadas em RV requer a personalização dos cenários, levando em conta características individuais dos usuários. A literatura sobre dose-resposta psicológica sugere que a intensidade e a duração das sessões devem ser cuidadosamente calibradas, a fim de maximizar benefícios e evitar efeitos adversos, como sobrecarga cognitiva ou desconforto (ANDERSON et al., 2013). Nesse sentido, a integração entre profissionais da saúde e especialistas em tecnologia é fundamental para o desenvolvimento de protocolos eficazes.

De maneira geral, os achados deste estudo, em conjunto com a literatura contemporânea, sugerem que a RV pode se configurar como uma ferramenta promissora tanto para intervenções terapêuticas quanto para estratégias de prevenção de estresse. A capacidade de induzir estados de relaxamento de forma controlada e imersiva aponta para um papel crescente dessa tecnologia na ampliação de abordagens voltadas à saúde mental, especialmente no contexto das soluções digitais (RIVA et al., 2019; WIEDERHOLD et al., 2020).

5.8 Reflexões Sobre Ética, Privacidade e Segurança

5.8.1 Cumprimento das Normas Éticas (TCLE, Proteção de Dados)

A condução de pesquisas envolvendo seres humanos exige o rigoroso cumprimento de princípios éticos, de modo a assegurar a dignidade, a segurança e a autonomia dos participantes. No presente estudo, todas as etapas foram norteadas pelos preceitos da Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, que estabelece diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos no Brasil. Nesse contexto, a obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi um elemento central, garantindo que os voluntários fossem devidamente informados acerca dos objetivos, procedimentos, potenciais riscos e benefícios da pesquisa, além de seus direitos de recusa ou desistência a qualquer momento, sem prejuízos ou constrangimentos.

A elaboração e apresentação do TCLE seguiram o princípio da autonomia, conforme estabelecido por Beauchamp e Childress (2013), que defendem a necessidade de respeitar a capacidade de decisão dos indivíduos. Para tanto, foram utilizados termos acessíveis e linguagem clara, evitando jargões técnicos que pudessem comprometer a compreensão do

documento. Essa prática vai ao encontro das recomendações internacionais de boas práticas em pesquisa, destacadas também pela Declaração de Helsinque (WORLD MEDICAL ASSOCIATION, 2013), que reforça a importância da informação plena e da livre manifestação de vontade dos participantes.

Outro aspecto essencial refere-se à proteção de dados pessoais e sensíveis, em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD – Lei nº 13.709/2018). Foram adotadas medidas técnicas e organizacionais que asseguraram a confidencialidade e integridade das informações coletadas, incluindo a anonimização dos registros, o uso de identificadores codificados e o armazenamento em ambientes digitais com acesso restrito. O princípio da minimização de dados, previsto na LGPD, foi seguido rigorosamente, de modo que apenas informações estritamente necessárias para os fins científicos foram coletadas e tratadas.

Adicionalmente, para garantir transparência e *accountability*, foi assegurado aos participantes o direito de acesso às informações registradas e a possibilidade de solicitar a exclusão de seus dados, caso desejassem. Essa medida fortalece a confiança entre pesquisador e voluntário, além de alinhar-se a práticas recomendadas por organismos internacionais, como a *General Data Protection Regulation* (GDPR) da União Europeia, que reforça os direitos fundamentais de privacidade e proteção de dados em pesquisas científicas (VOIGT & VON DEM BUSSCHE, 2017).

Em termos de beneficência e não maleficência, princípios também destacados por Beauchamp e Childress (2013), todos os procedimentos foram planejados para minimizar riscos potenciais e maximizar benefícios, sendo a integridade física e psicológica dos participantes prioritariamente resguardada. No caso específico do uso de RV e monitoramento por EEG, foi realizada avaliação prévia de segurança para prevenir desconfortos, fadiga visual ou sobrecarga cognitiva.

Assim, o cumprimento das normas éticas e legais neste estudo não se limitou a um aspecto burocrático, mas configurou-se como parte essencial da responsabilidade científica. Ao garantir o respeito à autonomia, à confidencialidade e à segurança dos participantes, a pesquisa reafirma seu compromisso com a ética e com a proteção integral dos voluntários, contribuindo para a legitimidade dos resultados e para a consolidação de boas práticas na interface entre ciência, tecnologia e saúde.

5.8.2 Percepção dos Participantes Sobre Segurança e Conforto

A percepção dos participantes quanto à segurança e ao conforto durante a realização de experimentos com RV representa um aspecto central para a validade ética e metodológica da pesquisa. Mais do que a adoção de protocolos técnicos e legais, é fundamental compreender a experiência subjetiva dos voluntários, visto que a sensação de proteção e bem-estar influencia diretamente o engajamento, a permanência no experimento e até mesmo a qualidade dos dados coletados (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016).

No presente estudo, observou-se que a maioria dos participantes relatou sensação de segurança física durante a utilização dos equipamentos, em especial os óculos de RV e os sensores de monitoramento. Isso se deveu tanto à clareza das instruções fornecidas previamente quanto ao acompanhamento constante da equipe de pesquisa, que permaneceu disponível para assistência imediata em caso de desconforto. Essa percepção é consistente com achados de Wiederhold e Riva (2019), que destacam a importância da supervisão e do suporte técnico como fatores determinantes para a confiança dos usuários em ambientes imersivos.

Quanto ao conforto físico, os relatos foram majoritariamente positivos, ainda que alguns participantes tenham indicado leve incômodo relacionado ao peso do dispositivo ou à pressão do ajuste na região facial. Tais queixas são recorrentes em estudos envolvendo RV (REBENITSCH & OWEN, 2016), que apontam que a ergonomia dos dispositivos continua sendo um desafio para pesquisas de longa duração. Contudo, as pausas programadas e o tempo controlado de exposição adotados neste estudo mostraram-se estratégias eficazes para reduzir a ocorrência de fadiga e desconforto, fortalecendo a percepção de cuidado e zelo por parte da equipe.

No que se refere à segurança psicológica, os participantes indicaram tranquilidade em relação à coleta e ao armazenamento de seus dados pessoais e biométricos, reforçando a confiança no cumprimento dos protocolos de anonimização e confidencialidade. Esse resultado pode estar associado à explicação detalhada fornecida no momento da assinatura do TCLE, que contemplava não apenas a descrição dos objetivos do estudo, mas também o esclarecimento sobre como os dados seriam tratados e protegidos. Estudos prévios (VOIGT & VON DEM BUSSCHE, 2017; ANDERSON & RAINIE, 2018) demonstram que a transparência no processo de coleta e gestão de informações é um dos fatores mais relevantes para a percepção de segurança em pesquisas mediadas por tecnologias digitais.

Outro ponto importante refere-se à sensação de controle durante a experiência imersiva. A possibilidade de interromper a exposição a qualquer momento, caso houvesse desconforto,

foi percebida como um elemento de garantia de segurança e autonomia, reduzindo significativamente o risco de ansiedade ou sensação de aprisionamento em um ambiente virtual. De acordo com a literatura (FREEMAN et al., 2017), oferecer mecanismos de saída rápida ou interrupção voluntária é essencial para evitar reações adversas em experimentos com RV, especialmente em indivíduos mais sensíveis a estímulos visuais intensos.

Por fim, cabe destacar que a percepção positiva dos participantes sobre segurança e conforto não apenas legitima a condução ética da pesquisa, mas também constitui um fator crucial para a aceitação da RV como ferramenta terapêutica e científica. Ao se sentirem protegidos, respeitados e confortáveis, os voluntários tendem a engajar-se mais plenamente na experiência, aumentando a confiabilidade das medidas obtidas e potencializando o impacto dos resultados. Assim, a avaliação subjetiva dos participantes complementa a Análise objetiva, consolidando uma perspectiva integral sobre a viabilidade e aplicabilidade da tecnologia em contextos de saúde e bem-estar.

5.8.3 Limitações e Cuidados para Futuras Aplicações

A utilização de RV integrada ao monitoramento EEG em contextos de saúde mental apresenta um grande potencial terapêutico, porém envolve limitações técnicas, práticas e éticas que devem ser consideradas para garantir a segurança e a eficácia das futuras aplicações. Entre os principais desafios identificados, destaca-se a questão do conforto físico e da ergonomia dos dispositivos. Apesar dos avanços em headsets mais leves e ajustáveis, longos períodos de exposição podem gerar fadiga visual, tensão cervical e desconforto facial, impactando negativamente a experiência do usuário e, consequentemente, a qualidade dos dados coletados (REBENITSCH & OWEN, 2016). Estudos futuros devem priorizar a avaliação contínua do conforto e explorar estratégias de adaptação, como pausas programadas, ajustes personalizados do headset e protocolos de habituação gradual, minimizando efeitos adversos.

Outro cuidado fundamental está relacionado à qualidade e estabilidade dos sinais neurofisiológicos. A interferência de artefatos elétricos, movimentos do participante ou ruídos externos pode comprometer a interpretação dos sinais EEG, exigindo calibração rigorosa, posicionamento preciso dos eletrodos e controle ambiental. A literatura aponta que inconsistências nos dados podem gerar interpretações equivocadas sobre os estados emocionais ou cognitivos dos participantes (VAGAJA, LINKENKAER-HANSEN & VOURVOPOULOS, 2024).

Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros incorporem sistemas de validação contínua, filtros adaptativos e protocolos de reposicionamento de eletrodos, garantindo maior confiabilidade na análise neurofisiológica.

Do ponto de vista psicológico e cognitivo, a exposição prolongada a ambientes virtuais pode provocar cinetose, desconforto emocional ou sobrecarga sensorial, especialmente em indivíduos sensíveis a estímulos visuais ou auditivos intensos. Para mitigar esses riscos, é necessário planejar cuidadosamente os cenários, equilibrando complexidade e intensidade dos estímulos, além de permitir que os participantes mantenham controle sobre a experiência, incluindo a possibilidade de interromper ou ajustar os estímulos a qualquer momento (FREEMAN et al., 2017). Esses cuidados são essenciais para preservar o bem-estar emocional e evitar efeitos adversos que possam comprometer tanto a segurança quanto a validade dos dados.

Além disso, a proteção de dados e a privacidade representam aspectos críticos para a aplicação clínica e experimental de tecnologias imersivas. O armazenamento de sinais EEG e dados fisiológicos é considerado sensível, e qualquer violação pode gerar riscos éticos e legais. Estudos futuros devem adotar criptografia robusta, protocolos de anonimização e políticas claras de acesso restrito, assegurando que os dados não possam ser utilizados indevidamente e que o consentimento informado seja rigorosamente aplicado (VOIGT & VON DEM BUSSCHE, 2017).

Outro ponto relevante é a viabilidade prática em contextos clínicos, que inclui espaço físico adequado, equipamento de alta qualidade e equipe qualificada para instalação, monitoramento e análise dos dados. Limitações estruturais ou operacionais podem restringir a escalabilidade do método e sua aplicação rotineira em clínicas ou hospitais, exigindo planejamento estratégico para integração segura e eficiente da tecnologia no ambiente terapêutico.

As considerações éticas também se estendem à seleção de participantes. É fundamental respeitar critérios de inclusão e exclusão rigorosos para evitar riscos desnecessários, como recrutamento de indivíduos com condições neurológicas, uso de medicações psicoativas ou vulnerabilidade psicológica elevada. Protocolos futuros devem manter a mesma diligência ética, garantindo segurança, equidade e responsabilidade na condução da pesquisa.

Ainda, a generalização dos resultados representa uma limitação importante. Estudos exploratórios, com amostras pequenas e heterogêneas, podem fornecer insights iniciais, mas não permitem inferências amplas sobre diferentes populações. Pesquisas subsequentes devem

ampliar a diversidade e o tamanho da amostra, possibilitando análise mais robusta e representativa das respostas emocionais e cognitivas aos ambientes virtuais.

Por fim, é necessário considerar cuidados contínuos com a experiência do usuário, incluindo avaliação periódica de desconforto, monitoramento de efeitos adversos e comunicação clara sobre os objetivos e procedimentos do estudo. Somente dessa forma será possível garantir que a aplicação de RV e EEG para monitoramento emocional em saúde mental seja não apenas tecnicamente eficaz, mas também ética, segura e confortável para os participantes, promovendo um equilíbrio entre inovação tecnológica e responsabilidade clínica (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016; WIEDERHOLD & RIVA, 2019).

5.9 Síntese dos Resultados e Implicações para a Prática Clínica

A análise integrada dos dados quantitativos e qualitativos coletados neste estudo revelou resultados consistentes e promissores quanto à eficácia da combinação entre RV e EEG no monitoramento emocional e na promoção da saúde mental. Do ponto de vista quantitativo, os sinais de EEG indicaram padrões de ativação cortical coerentes com estados emocionais positivos durante a exposição aos cenários imersivos. Observou-se aumento nas ondas alfa, associadas ao relaxamento e à redução do estresse, bem como variações nas bandas beta e teta relacionadas à atenção e ao engajamento cognitivo. As diferenças entre o grupo experimental e o grupo controle sugerem que a sensação de incorporação no ambiente virtual potencializa respostas neurofisiológicas, corroborando estudos prévios que destacam a importância da presença virtual na experiência emocional e cognitiva (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016; LI et al., 2024).

As medidas fisiológicas complementares, como frequência cardíaca e padrões respiratórios, apresentaram coerência com os dados de EEG, indicando redução de marcadores de ativação simpática e aumento de indicadores de relaxamento. Esses resultados foram reforçados pelos questionários psicométricos, nos quais os participantes relataram níveis elevados de relaxamento, engajamento e bem-estar, além de redução na ansiedade percebida. A convergência entre dados subjetivos e objetivos sugere que a abordagem adotada permite uma avaliação consistente das respostas emocionais, com base na integração de múltiplas fontes de dados sincronizadas por registros temporais.

Do ponto de vista qualitativo, a análise das entrevistas e observações evidenciou que os participantes perceberam os cenários virtuais como realistas e envolventes, destacando a imersão como fator determinante para o engajamento cognitivo e emocional. A percepção de

controle sobre a experiência foi frequentemente mencionada como elemento relevante para o conforto e a segurança, contribuindo para a adesão às sessões experimentais. Esses achados estão alinhados à literatura que associa experiências imersivas a maiores níveis de motivação e envolvimento do usuário (WIEDERHOLD & RIVA, 2019).

No que se refere à análise dos dados neurofisiológicos, observou-se que os padrões identificados apresentaram consistência ao longo dos participantes, permitindo a identificação de tendências relacionadas aos estados emocionais induzidos pelos cenários. A interpretação desses padrões foi realizada de forma posterior, com base na associação entre os sinais EEG e os eventos experimentais registrados por meio de marcadores temporais, garantindo alinhamento entre estímulos e respostas neurais.

A integração entre dados quantitativos e qualitativos evidenciou a coerência entre respostas fisiológicas e percepções subjetivas, fortalecendo a validade dos resultados. A correspondência entre padrões de ativação cerebral e relatos dos participantes reforça a possibilidade de inferir estados emocionais a partir da atividade neurofisiológica, especialmente quando combinada a outras medidas complementares.

Em termos de viabilidade prática, os resultados demonstraram que a integração entre RV e EEG pode ser implementada em ambiente controlado, permitindo a coleta de dados de forma consistente. Embora tenham sido identificadas limitações técnicas, como ruídos nos sinais e necessidade de ajustes nos eletrodos, tais aspectos não comprometeram a análise e podem ser mitigados em estudos futuros.

No que se refere aos aspectos éticos, os participantes relataram percepção positiva quanto à segurança, conforto e privacidade durante as sessões. O cumprimento dos protocolos éticos, incluindo o uso do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e medidas de proteção de dados, contribuiu para a confiança no estudo e para a integridade dos dados coletados.

De modo geral, os principais achados indicam que a combinação entre RV e EEG favorece estados emocionais positivos, melhora indicadores de relaxamento e atenção e proporciona uma base objetiva para a avaliação emocional. A utilização de registros temporais para sincronização dos dados permitiu a análise integrada das respostas fisiológicas e comportamentais, oferecendo suporte consistente para a interpretação dos estados emocionais.

Esses resultados evidenciam o potencial da tecnologia como ferramenta de apoio ao monitoramento emocional e à promoção da saúde mental, especialmente em contextos controlados. A possibilidade de integrar dados neurofisiológicos, fisiológicos e subjetivos fornece uma base robusta para o desenvolvimento de futuras aplicações clínicas.

Por fim, a análise integrada confirma que o estudo atingiu seus objetivos, demonstrando

que a combinação entre RV e EEG constitui uma abordagem viável, segura e eficaz para investigação de estados emocionais. A convergência dos dados fortalece a validade dos resultados e contribui para o avanço das pesquisas na interface entre tecnologia imersiva e saúde mental.

5.9.1 Relevância da Integração RV + EEG para Personalização de Intervenções

A integração entre RV e EEG demonstrou potencial relevante para a personalização de intervenções voltadas à promoção da saúde mental, especialmente quando considerada a análise integrada de dados neurofisiológicos, fisiológicos e subjetivos. No contexto deste estudo, a personalização baseia-se na interpretação posterior dos sinais de EEG, permitindo identificar padrões de ativação cerebral associados a estados de relaxamento, engajamento e atenção.

A capacidade de correlacionar dados objetivos, como variações nas bandas alfa, beta e teta, com medidas fisiológicas complementares (frequência cardíaca e padrões respiratórios) e respostas subjetivas obtidas por questionários psicométricos possibilita uma compreensão mais abrangente das respostas emocionais dos participantes. Esse cruzamento de informações permite identificar tendências individuais e subsidiar estratégias de personalização em Análise posteriores, alinhando-se a abordagens multimodais descritas na literatura (LI et al., 2024; VOORVOPOULOS & LIAROKAPIS, 2014).

Nesse sentido, embora o presente estudo não contemple adaptação automática dos estímulos durante a execução do experimento, os resultados indicam que os dados coletados podem ser utilizados para orientar o desenvolvimento de sistemas adaptativos em aplicações futuras. Tais sistemas poderiam ajustar parâmetros dos cenários virtuais com base em padrões previamente identificados, promovendo experiências mais individualizadas.

A integração RV + EEG também possibilita a construção de perfis neurofisiológicos individuais, que podem ser utilizados para estruturar protocolos terapêuticos personalizados. Por exemplo, participantes que apresentem padrões associados a maior ativação podem se beneficiar de cenários com estímulos mais suaves, enquanto aqueles com menor engajamento podem demandar ambientes mais estimulantes. Essa personalização, no entanto, ocorre no nível de planejamento e análise, e não por meio de ajustes automáticos durante a experiência.

Outro aspecto relevante refere-se à possibilidade de avaliação longitudinal. A comparação entre dados obtidos em diferentes sessões permite identificar padrões de evolução emocional e cognitiva, possibilitando ajustes progressivos nos protocolos de intervenção ao longo do tempo. Essa abordagem favorece uma personalização baseada em histórico de dados,

contribuindo para maior eficácia em aplicações clínicas.

Adicionalmente, a integração entre RV e EEG contribui para a redução da subjetividade nas avaliações em saúde mental, ao fornecer indicadores neurofisiológicos que complementam relatos autoavaliativos. A convergência entre dados objetivos e subjetivos fortalece a interpretação dos estados emocionais e pode subsidiar decisões mais informadas em contextos clínicos (KOELSTRA et al., 2011; LI et al., 2024).

Embora o sistema desenvolvido não realize modulação automática dos cenários em tempo real, a análise dos resultados indica que essa integração tecnológica possui potencial para evoluir nesse sentido em estudos futuros. A utilização de algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas de interfaces cérebro-computador pode viabilizar, em contextos futuros, sistemas mais responsivos e adaptativos.

De modo geral, os achados reforçam que a integração entre RV e EEG constitui uma abordagem promissora para o desenvolvimento de intervenções personalizadas em saúde mental, especialmente quando baseada na análise estruturada e integrada dos dados coletados. Essa abordagem oferece suporte consistente para a compreensão dos estados emocionais e para o planejamento de estratégias terapêuticas individualizadas.

Por fim, a aplicabilidade da integração RV + EEG em contextos clínicos e de pesquisa evidencia seu potencial como ferramenta de apoio à personalização de intervenções, contribuindo para o avanço de tecnologias voltadas ao monitoramento emocional e à promoção do bem-estar psicológico.

5.9.2 Recomendações para o Uso em Saúde Mental e Estratégias Preventivas

Com base nos achados deste estudo, torna-se evidente que a integração entre RV e EEG pode constituir uma ferramenta de grande valor para intervenções em saúde mental, tanto no âmbito terapêutico quanto na prevenção de condições relacionadas ao estresse e à ansiedade. Recomenda-se que a implementação dessa tecnologia seja acompanhada de protocolos estruturados, nos quais a seleção de estímulos visuais e auditivos seja cuidadosamente planejada para induzir estados emocionais positivos, considerando a diversidade de perfis individuais e as respostas neurofisiológicas previamente identificadas. Essa abordagem está alinhada à literatura e contribui para maior engajamento e segurança dos participantes (LI et al., 2024; WIEDERHOLD & RIVA, 2019).

Uma recomendação central refere-se à personalização das intervenções com base na análise integrada dos dados coletados. No contexto deste estudo, essa personalização ocorre a

partir da interpretação posterior dos sinais de EEG, associada a medidas fisiológicas e relatos subjetivos. Essa abordagem permite ajustar protocolos terapêuticos entre sessões, levando em consideração as características individuais de cada participante.

Embora o presente trabalho não contemple adaptação automática dos estímulos durante a execução das sessões, os resultados indicam que dados neurofisiológicos podem subsidiar o desenvolvimento de sistemas adaptativos em estudos futuros. Tais sistemas poderiam, potencialmente, ajustar parâmetros dos ambientes virtuais com base em padrões previamente identificados, ampliando o nível de personalização das intervenções.

Recomenda-se também a integração das sessões com estratégias complementares de promoção da saúde mental, como exercícios de respiração, práticas de mindfulness e acompanhamento psicoterapêutico. Essa abordagem multimodal pode potencializar os efeitos de regulação emocional e contribuir para a redução da ansiedade e do estresse, conforme indicado na literatura (SLATER & SANCHEZ-VIVES, 2016; VOURVOPOULOS & LIAROKAPIS, 2014).

A frequência e a duração das sessões devem ser planejadas de acordo com a resposta individual dos participantes e os objetivos da intervenção. Protocolos progressivos, iniciando com sessões mais curtas e aumentando gradualmente a complexidade, tendem a favorecer maior adaptação e conforto. Esse planejamento pode ser orientado por indicadores obtidos a partir da análise dos sinais EEG, dados fisiológicos e avaliações subjetivas.

O treinamento prévio e a familiarização com os sistemas de RV e EEG também são recomendados, uma vez que contribuem para maior conforto, engajamento e estabilidade das respostas neurofisiológicas. A clareza das instruções e a adaptação gradual ao ambiente virtual são fatores importantes para reduzir ansiedade inicial e melhorar a qualidade da experiência.

Em contextos clínicos, recomenda-se a adoção de protocolos rigorosos de segurança, incluindo pausas programadas, monitoramento de possíveis efeitos adversos e suporte profissional durante as sessões. A observância de princípios éticos e normas de proteção de dados é essencial para garantir a confidencialidade e o bem-estar dos participantes, em conformidade com regulamentações vigentes.

Outra estratégia relevante é a realização de Análise longitudinais, permitindo acompanhar a evolução dos estados emocionais ao longo do tempo. A comparação entre sessões possibilita ajustes progressivos nos protocolos e contribui para o desenvolvimento de intervenções mais eficazes e individualizadas.

Adicionalmente, elementos de gamificação podem ser incorporados para aumentar o engajamento dos participantes, desde que alinhados aos objetivos terapêuticos. Em aplicações

futuras, sistemas mais avançados poderão explorar o uso de feedback baseado em sinais neurofisiológicos para reforçar comportamentos positivos, ampliando o potencial das intervenções.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas explorem a utilização de ambientes virtuais colaborativos, permitindo a realização de sessões em grupo e promovendo interações sociais. Essa abordagem pode contribuir para o fortalecimento de vínculos e para o suporte emocional, ampliando os benefícios das intervenções.

Em síntese, as recomendações derivadas deste estudo enfatizam a importância da personalização baseada em dados, do monitoramento ético, da segurança e da integração multimodal. A aplicação cuidadosa dessas estratégias pode contribuir para o desenvolvimento de intervenções mais eficazes e seguras, ampliando o potencial da integração entre RV e EEG na promoção da saúde mental.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou a integração entre Realidade virtual (RV) e Eletroencefalograma (EEG) no monitoramento emocional, com potencial de aplicação na área da saúde mental e na análise de respostas neurofisiológicas em ambientes imersivos. A pesquisa foi conduzida por meio de um delineamento experimental e quase-experimental, combinando abordagens quantitativas e qualitativas, e orientada pela metodologia *Design Science Research* (DSR). Nesse contexto, foi desenvolvido e avaliado um artefato computacional composto por cenários virtuais imersivos e um sistema de aquisição e análise de sinais EEG.

Diferentemente de abordagens baseadas em adaptação em tempo real, o estudo adotou um modelo de processamento offline, no qual os dados neurofisiológicos foram analisados após a coleta. Essa estratégia proporcionou maior controle metodológico e permitiu Análise mais detalhadas dos sinais neurofisiológicos na identificação de padrões associados aos estados emocionais dos participantes. Os resultados indicaram que a exposição a cenários virtuais cuidadosamente projetados foi capaz de induzir variações emocionais observáveis. A análise das bandas alfa, beta e teta revelou padrões de ativação cortical relacionados a estados de relaxamento, atenção e engajamento cognitivo. As respostas subjetivas dos participantes corroboraram parcialmente esses achados, reforçando a confiabilidade das respostas observadas.

A comparação entre diferentes condições experimentais evidenciou que características do ambiente virtual, especialmente o nível de imersão e a qualidade dos estímulos sensoriais, influenciam diretamente as respostas neurofisiológicas. Os resultados sugerem que níveis mais elevados de imersão podem influenciar os padrões de atividade cerebral, destacando a importância do design dos ambientes virtuais. Do ponto de vista metodológico, o estudo confirmou a viabilidade do uso de sinais EEG para análise emocional em contextos de RV. Entretanto, foram identificadas limitações relevantes, como variabilidade interindividual, presença de ruídos e desafios relacionados ao conforto durante a coleta. Esses fatores indicam a necessidade de aprimoramento contínuo dos protocolos experimentais e das técnicas de processamento.

A integração entre dados neurofisiológicos, medidas fisiológicas e respostas subjetivas permitiu uma análise multimodal das experiências emocionais, oferecendo uma visão mais abrangente e consistente dos efeitos dos ambientes virtuais. Essa abordagem contribui para o

avanço das pesquisas em computação afetiva e interação humano-computador.

Os resultados também sugerem que ambientes virtuais imersivos podem ser utilizados como ferramenta promissora para aplicações terapêuticas e preventivas, permitindo a indução controlada de estados emocionais em condições seguras. Embora o sistema desenvolvido não implemente adaptação em tempo real, os achados fornecem subsídios para o desenvolvimento futuro de soluções mais avançadas e personalizadas.

Em síntese, esta dissertação contribui para a área ao demonstrar a viabilidade da integração entre RV e EEG para o monitoramento emocional, destacando seu potencial na saúde mental, especialmente em estratégias de avaliação, intervenção e prevenção.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da amostra, a inclusão de diferentes perfis clínicos e a integração com outras modalidades fisiológicas, como GSR e variabilidade da frequência cardíaca. Adicionalmente, sugere-se a exploração de técnicas mais avançadas de aprendizado de máquina e o desenvolvimento de sistemas adaptativos, desde que suportados por infraestrutura adequada para processamento em tempo real.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. H. R. A. Simulando a esquizofrenia através da RV e inteligência artificial. *Revista Internacional de Ciências*, v. 14, n. 1, 2024.
- ANDERSON, J.; RAINIE, L. *The Future of Well-Being in a Tech-Saturated World*. Washington, DC: Pew Research Center, 2018.
- ANDERSON, P. L.; ZIMAND, E.; GOTSMAN, R.; et al. Cognitive behavioral therapy for public-speaking anxiety using virtual reality for exposure. *Depression and Anxiety*, v. 30, n. 11, p. 933–940, 2013.
- ANDRADE, L. P. *et al.* Neuroreality: um sistema para inserção, análise e gerenciamento de dados de EEG em ambientes virtuais. Repositório Institucional da UFPB, Universidade Federal da Paraíba, 2019.
- BACEVICIUTE, S.; LIU, R.; HOU, B. Gamified VR environments for cognitive and motivational enhancement: a systematic review. *Virtual Reality*, v. 24, n. 3, p. 615–631, 2020.
- BARRETT, L. F. *Are emotions natural kinds? Perspectives on psychological science*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 1, n. 1, p. 28–58, 2006.
- BEAUCHAMP, T. L.; CHILDRESS, J. F. *Principles of Biomedical Ethics*. 7. ed. New York: Oxford University Press, 2013.
- BIJLSMA, J.; DE VRIES, G. M. The elusive concept of dangerousness: The state of the art in criminal legal theory and the necessity of further research. *Criminal Justice Ethics*, v. 41, n. 2, p. 142–166, 2022.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm>. Acesso em: 17 set. 2025.
- BURDEA, G. *Virtual reality technology*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003.
- BUYUKSALIH, I. *et al.* 3d modelling and visualization based on the unity game engine—advantages and challenges. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, v. 4, p. 161–166, 2017.
- CARL, E.; STEIN, A. T.; LEHRER, P.; STERN, M.; EHRLICH, M.; LANE, B.; SIMON, N. M. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders*, v. 61, p. 27–36, 2019.
- CHIRICO, A.; YANG, S.; FROSINI, F.; MASELLI, F.; MAURO, A.; GIUSTI, E. M.; RIVA, G. Virtual reality in health system: beyond entertainment. *Aging Clinical and Experimental Research*, v. 32, n. 9, p. 1847–1852, 2020.
- CHOI, J. W. *et al.* Neural applications using immersive virtual reality: a review on eeg studies. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, v. 31, p. 1645–1658, 2023.

CIPRESSO, P.; BAPTISTA, R.; FIORINI, L.; et al. Virtual reality and cognitive enhancement: a review of recent evidence. *Frontiers in Systems Neuroscience*, v. 12, p. 64, 2018.

COSTA, G. A. *et al.* Análise do impacto tardio da estratégia de raciocínio reflexivo estruturada livre, adicionada de pistas e por exemplo trabalhado na acurácia diagnóstica de estudantes de medicina. *Sensors*, Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

CUMMINGS, J. J.; BAIENSON, J. N. How immersive is enough? a meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media psychology*, Taylor & Francis, v. 19, n. 2, p. 272–309, 2016.

Delving the brain with a synergistic approach. *Brain Sciences*, MDPI, v. 11, n. 1, p. 51, 2021.

DOMINGOS, L. C. F. *et al.* Mapeamento cerebral durante estímulos visuais com óculos de RV. VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI, 2018.

DZEDZICKIS, A.; KAKLAUSKAS, A.; BUCINSKAS, V. Human Emotion Recognition: Review of Sensors and Methods. *Sensors (Basel)*, v. 20, n. 3, p. 592, 21 jan. 2020.

EDITION, F. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. American psychiatric association, Washington, DC, p. 205–224, 1980.

ETKIN, A.; BUCHEL, C.; GROSS, J. J. The neural bases of emotion regulation. *Nature reviews neuroscience*, Nature Publishing Group, v. 16, n. 11, p. 693–700, 2015.

FIELD, A. *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*. 5. ed. London: SAGE, 2018.

FLICK, Uwe. *Introdução à pesquisa qualitativa*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

FREEMAN, D. *et al.* Automated virtual reality (vr) cognitive therapy for patients with psychosis: study protocol for a single-blind parallel group randomised controlled trial (gamechange). *BMJ open*, British Medical Journal Publishing Group, v. 9, n. 8, p. e031606, 2019.

FREEMAN, D. *et al.* Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological medicine*, Cambridge University Press, v. 47, n. 14, p. 2393–2400, 2017.

FREEMAN, D. et al. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, v. 47, n. 14, p. 2393–2400, 2017.

FREEMAN, D.; REBELO, P.; LORENTZEN, M.; DUNCAN, A.; ALCESTER, R.; FLEMING, M.; BRANAGAN, C.; YOUNG, B.; ROBERTS, E.; PALLANT, J.; et al. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, v. 47, n. 14, p. 2393–2400, 2017.

GAGGLIOLI, A.; CERASA, A.; BARRESI, G. Phygital mental health: opportunities and challenges. *mHealth and Human-Centered Design Towards Enhanced Health, Care, and Well-being*, Springer, p. 21–35, 2023.

GALVÃO, N. M. S.; MADUREIRA, J. S.; CHNEIDER, H. N. Design Science research para o desenvolvimento de artefatos educacionais. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 18, n. 54, p. 194–220, 2024.

GALVÃO, R. P. et al. Human inherited PD-L1 deficiency is clinically and immunologically less severe than PD-1 deficiency. *Journal of Experimental Medicine*, v. 221, n. 6, e20231704, jun. 2024.

GEORGIEV, D. D.; GEORGIEVA, I.; GONG, Z.; NANJAPPAN, V.; GEORGIEV, G. V. Virtual reality for neurorehabilitation and cognitive enhancement. *Brain Sciences*, v. 11, n. 2, p. 221, 11 fev. 2021.

GERAETS, C. N. *et al.* Virtual reality-based cognitive behavioural therapy for patients with generalized social anxiety disorder: a pilot study. *Behavioural and cognitive psychotherapy*, Cambridge University Press, v. 47, n. 6, p. 745–750, 2019.

GOODSPEED, K.; ARMSTRONG, D.; DOLCE, A.; EVANS, P.; SAID, R.; TSAI, P.; SIRSI, D. Electroencephalographic (EEG) biomarkers in genetic neurodevelopmental disorders. *Journal of Child Neurology*, [s. l.], v. 38, n. 6-7, p. 466–477, maio 2023.

GORINI, A.; RIVA, G. Virtual reality in anxiety disorders: the past and the future. *Expert Review of Neurotherapeutics*, v. 8, n. 2, p. 215–233, 2008.

HARMONY, T. The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in integrative neuroscience*, Frontiers Media SA, v. 7, p. 83, 2013.

HEINSEN, R. K.; MORRIS, S. E.; SHERRILL, J. T. National institute of mental health support for cognitive treatment development in schizophrenia: A narrative review. *Schizophrenia Bulletin*, Oxford University Press US, v. 50, n. 5, p. 972–983, 2024.

html. Hakupäivä, v. 20, p. 2018, 2018.

HUBER, T. *et al.* Dynamic difficulty adjustment in virtual reality exergames through experience-driven procedural content generation. In: IEEE. 2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). [S.l.], 2021. p. 1–8.

IZARD, C. E. Basic emotions, relations among emotions, and emotion-cognition relations. *IEEE/CAA Journal of Automatica*, American Psychological Association, 1992.

IZARD, C. E. Emotion feelings stem from evolution and neurobiological development, not from conceptual acts: Corrections for barrett et al.(2007). *Perspectives on Psychological Science*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2, n. 4, p. 404–405, 2007.

JASPER, H. H. Ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, v. 10, p. 371–375, 1958.

JERALD, J. The VR book: Human-centered design for virtual reality. [S.l.]: Morgan & Claypool, 2015.

JIMÉNEZ, C. A. *et al.* The brain in flow: a systematic review on the neural basis of the flow state. *The Lancet Psychiatry*, Elsevier, 2021.

- JR, J. J. laviola *et al.* 3D user interfaces: theory and practice. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2017.
- JULIANI, A. *et al.* Unity: A general platform for intelligent agents. arXiv preprint arXiv:1809.02627, 2018.
- JULIOUS, S. A. Sample size of 12 per group rule of thumb for a pilot study. *Pharmaceutical Statistics: The Journal of Applied Statistics in the Pharmaceutical Industry*, Wiley Online Library, v. 4, n. 4, p. 287–291, 2005.
- KLIMESCH, W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 16, n. 12, p. 606–617, 2012.
- KLOIBER, S. *et al.* Immersive analysis of user motion in vr applications. *The Visual Computer*, Springer, v. 36, n. 10, p. 1937–1949, 2020.
- KOELSTRA, S. *et al.* DEAP: A database for emotion analysis using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, v. 3, n. 1, p. 18–31, 2011.
- KOELSTRA, S. *et al.* Deap: A database for emotion analysis; using physiological signals. *IEEE transactions on affective computing*, IEEE, v. 3, n. 1, p. 18–31, 2011.
- KOELSTRA, S.; MUHL, C.; SOLEYMANI, M.; LEE, J. S.; YAZDANI, A.; EEROLA, T.; HERTZOGENRATHER, T.; PATERNOSTRO, G.; VALSTAR, M.; JALALYMANDI, S.; *et al.* DEAP: A database for emotion analysis using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, v. 3, n. 1, p. 18–31, 2011.
- KOWALSKI JUNIOR, L. C.; SIERRA, I. S.; CATAPAN, M. F. *et al.* RV aplicada no treinamento de habilidades de imitação de pessoas no Espectro Autista. *Cueadernos de educación y desarrollo*, v. 15, n. 1, 2023.
- LABSCHÜTZ, M. *et al.* Content creation for a 3d game with maya and unity 3d. *Institute of Computer Graphics and Algorithms*, Vienna University of Technology, v. 6, n. 124, p. 2, 2011.
- LAVIERI, E. *Getting Started with Unity 2018: A Beginner's Guide to 2D and 3D game development with Unity*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2018.
- LEE, J. P. *et al.* Encoding of multi-modal emotional information via personalized skinintegrated wireless facial interface. *Nature Communications*, Nature Publishing Group UK London, v. 15, n. 1, p. 530, 2024.
- LÉONARD, G.; KINSELLA, A.; SMITH, M.; *et al.* Neurofeedback and virtual reality: a systematic review of applications for mental health. *Journal of Neural Engineering*, v. 18, n. 3, p. 031001, 2021.
- LERNER, J. S.; KELTNER, D. Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition & emotion*, Taylor & Francis, v. 14, n. 4, p. 473–493, 2000.
- LI, J.; LI, X.; LI, Y.; *et al.* The impact of natural environments on human health: A systematic review. *Environmental Research*, v. 181, p. 108868, 2020.

- LI, X.; CHEN, Y.; WANG, H.; ZHAO, J. Optimizing EEG signal acquisition in VR-based neurophysiological studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 18, p. 114785, 2024.
- LI, Z. *et al.* Dsrp: A database for stress reduction using physiological signals. *IEEE Access*, IEEE, 2024.
- LIAO, Y. *et al.* Exploring emotional experiences and dataset construction in the era of short videos based on physiological signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, Elsevier, v. 96, p. 106648, 2024.
- LIMA, M. F. O. B. *et al.* Sintomas de transtorno mental comum e desempenho ocupacional na percepção de jovens participantes de curso pré-acadêmico. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e19011527708–e19011527708, 2022.
- LINDGREN, J.; LECUYER, A. Openvibe and other bci software platforms. *Brain–Computer Interfaces 2: Technology and Applications*, Wiley Online Library, p. 179–198, 2016.
- LOHSE, K.; SHI, R.; HEUER, H.; *et al.* The effect of gamification on learning and engagement in virtual reality environments. *Computers & Education*, v. 72, p. 102–112, 2014.
- LOTTE, F. *et al.* A review of classification algorithms for eeg-based brain–computer interfaces. *Journal of neural engineering*, IOP Publishing, v. 4, n. 2, p. R1, 2007.
- MAKRANSKY, G.; LILLEHOLT, L.; AABY, A. Development and validation of the MAKRANSKY, G.; PETERSEN, G. B. The cognitive and motivational effects of immersive virtual reality in education: a systematic review. *Educational Research Review*, v. 34, p. 100403, 2021.
- MANUAL, U. Unity technologies. Saatavissa: <https://docs.unity3d.com/Manual/index>.
- MAPLES-KELLER, J. L.; BESCHER, S. L.; LEBEL, M. S.; BAKER, D. J. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, v. 25, n. 3, p. 103–113, 2017.
- MÁRIN-MORALES, J. *et al.* Affective computing in virtual reality: emotion recognition from brain and heartbeat dynamics using wearable sensors. *Scientific reports*, Nature Publishing Group UK London, v. 8, n. 1, p. 13657, 2018.
- MARZBANI, H.; MARATEB, H. R.; MANSOURIAN, M. EEG signal processing for brain–computer interface applications: A review. *Neural Computing and Applications*, v. 25, n. 3–4, p. 599–615, 2017.
- MATAMALA-GOMEZ, M.; FERRÉ, X.; VILLEGAS, J.; *et al.* Virtual reality and cognitive training: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Psychology*, v. 10, p. 1686, 2019.
- MEDESHOVA, A.; AMANTURLINA, G.; SUMYANOVA, E. (2016) volume 11 issue 15. *Development*, v. 11, n. 17, p. 1, 2016.
- MIMNAUGH, K. J. *et al.* Virtual reality sickness reduces attention during immersive experiences. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE, v. 29, n. 11, p. 4394–4404, 2023.

- MISHRA, S. *et al.* Neurophysiological correlates of cognition as revealed by virtual reality: MITCHELL, D. J.; MCCONNELL, J.; MALHOTRA, R.; et al. EEG correlates of attentional focus and working memory during visual tasks. *NeuroImage*, v. 42, n. 3, p. 1253–1260, 2008.
- MOREIRA, Matheus Henrique; MAZUREK, Leandro Avelino; COELHO, Raquel da Silva Vieira. RV (RV) e suas inovações que melhoram na aplicação médica. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 12, n. 4, 2024.
- multimodal presence scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach. *Computers in Human Behavior*, Elsevier, v. 72, p. 276–285, 2017.
- NETO, M. P. *et al.* Unity cluster package—dragging and dropping components for multiprojection virtual reality applications based on pc clusters. In: SPRINGER. *Computational Science and Its Applications—ICCSA 2015: 15th International Conference*, Banff, AB, Canada, June 22–25, 2015, Proceedings, Part V 15. [S.l.], 2015. p. 261–272.
- NIELSEN, J. *Usability engineering* academic press. Boston, MA, USA, 1993.
- PARSONS, T. D. Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 15, p. 631873, 2021.
- PARSONS, T. D.; RÁDZIK, T.; GÜNTHER, R.; et al. Virtual reality for neuropsychological assessment: a meta-analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, v. 20, n. 12, p. 759–772, 2017.
- PFURTSCHELLER, G. Functional brain imaging based on erd/ers. *Vision research*, Elsevier, v. 41, n. 10–11, p. 1257–1260, 2001.
- PFURTSCHELLER, G. Functional brain imaging based on ERD/ERS. *Vision Research*, v. 41, n. 10–11, p. 1257–1260, 2001.
- PFURTSCHELLER, G. Functional brain imaging based on ERD/ERS. *Vision Research*, v. 41, n. 10–11, p. 1257–1260, 2001.
- PITTELLA, J. E. H. A singularidade do cérebro humano: uma revisão. *Dement. neuropsychol.* v. 18, 2024.
- POTTLE, J. Virtual reality and the transformation of medical education. *Future healthcare journal*, Elsevier, v. 6, n. 3, p. 181–185, 2019.
- prior to motor imagery training in vr does not affect the induced event-related desynchronization: a pilot study. *Frontiers in Virtual Reality*, Frontiers Media SA, v. 4, p. 1265010, 2024.
- REBENITSCH, L.; OWEN, C. Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, v. 20, p. 101–125, 2016.
- REBENITSCH, L.; OWEN, C. Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, v. 20, n. 2, p. 101–125, 2016.

RENARD, Y. *et al.* Openvibe: An open-source software platform to design, test, and use brain-computer interfaces in real and virtual environments. Presence, MIT press, v. 19, n. 1, p. 35–53, 2010.

RENARD, Y.; LACOMBE, V.; LI, Y.; et al. OpenViBE: An open-source software platform to design, test, and use brain-computer interfaces in real and virtual environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 19, n. 1, p. 35–53, 2010.

RIVA, G.; BAUMANN, S.; GORINI, A.; MAURO, A.; FROSINI, F. Virtual reality for health and wellbeing: The future of prevention and treatment. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, v. 22, n. 10, p. 693–701, 2019.

RIVA, G.; WIEDERHOLD, B. K.; MANTOVANI, F. Neuroscience of virtual reality: from virtual exposure to embodied medicine. Cyberpsychology, behavior, and social networking, Mary Ann Liebert, Inc., publishers 140 Huguenot Street, 3rd Floor New ..., v. 22, n. 1, p. 82–96, 2019.

RIVERA, M. J. *et al.* Diagnosis and prognosis of mental disorders by means of eeg and deep learning: a systematic mapping study. Artificial Intelligence Review, Springer, p. 1–43, 2022.

RIZZO, A.; KOENIG, S. T. *et al.* Is clinical virtual reality ready for primetime? Neuropsychology, American Psychological Association, v. 31, n. 8, p. 877, 2017.

RIZZO, A.; STRICKLAND, D.; GRAHAM, K.; et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation: a review of the literature. NeuroRehabilitation, v. 45, n. 3, p. 345–356, 2019.

SAMPATH, P. *et al.* Iot based health—related topic recognition from emerging online health community (med help) using machine learning technique. Electronics, MDPI, v. 9, n. 9, p. 1469, 2020.

SARMIENTO, C.; LAU, C. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: Dsm-5. The Wiley encyclopedia of personality and individual differences: Personality processes and individual differences, Wiley Online Library, p. 125–129, 2020.

SEABROOK, E. M.; KEEFE, S. F.; LANTER, E.; et al. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: a meta-analysis of randomized controlled trials. Journal of Anxiety Disorders, v. 71, p. 102209, 2020.

SEECK, M. *et al.* The standardized eeg electrode array of the ifcn. Clinical neurophysiology, Elsevier, v. 128, n. 10, p. 2070–2077, 2017.

SHAH, A. *et al.* 7. american psychiatric association (2013) diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5th edn. american psychiatric publishing, arlington, va. 8. bechara, a., dolan, s. and hindes, a.(2002) decision-making and addiction (part ii): myopia for the future or hypersensitivity to reward? neuropsychologia, 40, 1690–1705. 9. office of public sector information (2005) the mental capacity act 2005. <http://www>. Substance Use and Older People, John Wiley & Sons, v. 21, n. 5, p. 9, 2014.

SHOEIBI, A. *et al.* Automatic diagnosis of schizophrenia in eeg signals using cnn-lstm models. Frontiers in neuroinformatics, Frontiers Media SA, v. 15, p. 777977, 2021.

- SILVA, B. S.; FONSECA, P. I. M. N.; SILVA, P. D. As emoções à flor da pele e seus possíveis manejos na pandemia da COVID-19. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 10, e12101018434, 2021.
- SIMÃO, V. O. Classificação de emoções em sinais de eeg utilizando técnicas de aprendizado de máquina. *Repositorio da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, IEEE*, v. 70, p. 93, 2017.
- SLATER, M. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, The Royal Society*, v. 364, n. 1535, p. 3549–3557, 2009.
- SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI, Frontiers Media SA*, v. 3, p. 74, 2016.
- SLATER, M.; SÁNCHEZ-VIVES, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, v. 3, p. 74, 2016.
- SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (five): SOLCA, F. New frontiers in the cognitive assessment of amyotrophic lateral sclerosis: Brain computer interface and eye tracking. *Journal of medical Internet research, Università degli Studi di Milano*, 2015.
- SOUFINEYESTANI, M.; DOWLING, D.; KHAN, A. Electroencephalography (EEG) Technology Applications and Available Devices. *Applied Sciences*, v. 10, n. 21, p. 7453, 2020.
- Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, MIT Press One Rogers Street, Cambridge, MA 02142-1209, USA journals-info ...*, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997.
- SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. *Cognitive load theory*. 2. ed. New York: Springer, 2011.
- THAYER, J. F.; LANE, R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, v. 12, n. 1, 2000.
- THOMPSON, D. Introduction to the special section on Visual electrophysiology 2021: a coming of age. *Eye (London)*, v. 35, n. 9, p. 2339–2340, 2021.
- TORI, R. Tecnologias Imersivas na Educação em Saúde. *Boletim do Instituto de Saúde*, vol. 23, n. 2, 2022.
- TORRES, E. P. *et al.* Eeg-based bci emotion recognition: A survey. *Sensors, MDPI*, v. 20, n. 18, p. 5083, 2020.
- TREASURE, J.; CLAUDINO, A.; ZUCKER, N. Eat disord. *Lancet*, v. 375, n. 9714, p. 583–593, 2010.
- TREMMELE, C. *et al.* Estimating cognitive workload in an interactive virtual reality environment using eeg. *Frontiers in human neuroscience, Frontiers Media SA*, v. 13, 2019.
- UNITH TECHNOLOGIES. *Unity3D Manual: Getting started with Unity3D*. [S. l.], 2018.

UNITY TECHNOLOGIES. (2018). Unity User Manual. San Francisco: Unity Technologies. Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>> Acesso em: 28 Ago. 2025.

USSO, S.; TBERMACINE, I. E.; TBERMACINE, A.; CHEBANA, D.; NAHILI, A.; STARCZEWSKI, J.; NAPOLI, C. Analyzing EEG patterns in young adults exposed to different acrophobia levels: a VR study. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 18, p. 1348154, 6 maio 2024.

VAGAJA, I.; LINKENKAER-HANSEN, K.; VOURVOPOULOS, A. EEG calibration and preprocessing techniques for immersive virtual environments. *Journal of Neural Engineering*, v. 21, n. 2, p. 026005, 2024.

VAGAJA, K.; LINKENKAER-HANSEN, K.; VOURVOPOULOS, A. Avatar embodiment prior to motor imagery training in VR does not affect the induced event-related desynchronization: a pilot study. *Frontiers in Virtual Reality*, v. 4, art. 1265010, 2024.

VAGAJA, M.; LINKENKAER-HANSEN, K.; VOURVOPOULOS, A. EEG-based neuroadaptive technologies for mental health: Advances and challenges. *Frontiers in Neuroergonomics*, v. 5, p. 1–15, 2024.

VALMAGGIA, L. R. *et al.* Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems: An systematic review of recent evidence. *Psychiatry research*, Elsevier, v. 236, p. 189–195, 2016.

VALMAGGIA, L. R.; LATIF, L.; CAMPBELL, M.; *et al.* Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems: an overview. *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, v. 6, n. 3, p. 193–203, 2016.

VELING, W.; VAN DER VELDE, J.; VAN SCHAIK, R.; LOHUIS, L.; BERMAN, M.; WATSON, P.; *et al.* Virtual reality therapy for social anxiety: a randomized controlled trial. *Behaviour Research and Therapy*, v. 144, p. 103879, 2021.

VIANA, B. F. Análise do EEG durante estimulação visual por RV estereoscópica em tarefa de interceptação de bola. *IPOTESI–REVISTA DE ESTUDOS LITERÁRIOS*, 2019.

VOIGT, P.; VON DEM BUSSCHE, A. The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A Practical Guide. Cham: Springer, 2017.

VOURVOPOULOS, A.; LIAROKAPIS, F. Brain–computer interfaces for augmented reality: A review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, v. 52, p. 1121–1135, 2014.

WANG, P. *et al.* Modulation of eeg signals by visual and auditory distractors in virtual reality-based continuous performance tests. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, 2024.

WANG, X. *et al.* Self-supervised eeg emotion recognition models based on cnn. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, v. 31, p. 1952–1962, 2023.

WANG, Y. *et al.* Multi-modal domain adaptation variational autoencoder for eeg-based emotion recognition. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, IEEE, v. 9, n. 9, p. 1612–1626, 2022.

WIEDERHOLD, B. K.; RIVA, G. Virtual reality therapy: emerging topics and future challenges. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, Mary Ann Liebert, Inc., publishers 140 Huguenot Street, 3rd Floor New ..., v. 22, n. 1, p. 3–6, 2019.

WIEDERHOLD, B. K.; RIVA, G. Virtual reality therapy: Emerging topics and future challenges. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, v. 22, n. 1, p. 3–6, 2019.

WIEDERHOLD, B. K.; RIZZO, A.; GRAHAM, K.; *et al.* Clinical use of virtual reality for cognitive rehabilitation: review and future directions. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, v. 19, n. 7, p. 421–430, 2016.

WORLD MEDICAL ASSOCIATION. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, v. 310, n. 20, p. 2191–2194, 2013.

XU, W. *et al.* Effects of an immersive virtual reality exergame on university students' anxiety, depression, and perceived stress: pilot feasibility and usability study. *JMIR Serious Games*, JMIR Publications Inc., Toronto, Canada, v. 9, n. 4, p. e29330, 2021.

ZHANG, N. *et al.* A comprehensive review of research on indoor cognitive performance using electroencephalogram technology. *Building and Environment*, Elsevier, p. 111555, 2024.

ZHENG, W.-L.; LU, B.-L. Investigating critical frequency bands and channels for eeg-based emotion recognition with deep neural networks. *IEEE Transactions on autonomous mental development*, IEEE, v. 7, n. 3, p. 162–175, 2015.

APENDICES

Apêndice A: Termo de consentimento Livre de Esclarecimento



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES
HUMANOS-COEP

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Prezado(a), você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa de forma totalmente voluntária da Universidade Federal de Lavras. Antes de concordar, é importante que você compreenda as informações e instruções contidas neste documento. Será garantida, durante todas as fases da pesquisa: sigilo; privacidade; e acesso aos resultados.

I - TÍTULO DO TRABALHO EXPERIMENTAL: Uso de realidade virtual e do eletroencefalograma na classificação de emoções

Pesquisador responsável: Hermenegildo Worono Albino Paiva

Cargo/Função: Estudante

Instituição/Departamento: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência da Computação

Telefone para contato: (35) 997472298

Local da coleta de dados: Laboratório LMTI – DCC - UFLA

II - OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo desta pesquisa é compreender como o cérebro reage a diferentes situações em realidade virtual (RV). Para isso, utilizaremos um equipamento chamado Eletroencefalógrafo (EEG), que funciona como um “capacete” com sensores que medem a atividade elétrica cerebral. Ele não causa dor, não emite choque e não traz riscos à saúde.

Ao mesmo tempo, você vivenciará cenários virtuais usando óculos de RV que foram criados para provocar diferentes emoções, como calma, foco, excitação ou leve estresse. Assim, poderemos analisar a relação entre os estímulos da realidade virtual e as respostas do seu cérebro.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES
HUMANOS-COEP

Essa pesquisa poderá ajudar no futuro a desenvolver tecnologias para tratamento em saúde mental, ensino imersivo, treinamentos profissionais e ambientes de entretenimento personalizados.

III - COMO SERÁ SUA PARTICIPAÇÃO

Você será convidado(a) a participar de 1 a 3 sessões sendo 2 utilizando o capacete EEG sem óculos de realidade virtual, e 1 utilizando óculos de RV, cada uma com cerca de 40 minutos de duração.

Durante as sessões, usará:

- Óculos de realidade virtual, que projetam os cenários;
- Capacete EEG, que capta sua atividade cerebral por sensores colocados sobre a cabeça.

Os cenários virtuais serão relaxantes Florestas, chuva e Montanhas. Você poderá fazer pausas sempre que desejar e poderá encerrar sua participação a qualquer momento, sem necessidade de justificar. Em alguns momentos, poderão ser feitas entrevistas ou questionários sobre sua experiência. Caso haja gravação de áudio, isso será feito apenas com sua autorização, e o material será usado exclusivamente para análise científica, sempre sob sigilo.

EXAMES

Caso aceite participar da pesquisa, você será convidado(a) a participar de sessões em ambientes de Realidade Virtual, nas quais será monitorado(a) meio de um sistema de eletroencefalografia (EEG). Durante essas sessões, serão apresentados diferentes cenários virtuais que simulam situações projetadas para evocar estados emocionais como relaxamento.

Durante o estudo, serão coletadas informações básicas sobre sua condição emocional e estado geral de saúde mental, além de registros dos sinais cerebrais captados durante a interação com os ambientes virtuais. Todos os dados obtidos serão utilizados exclusivamente para fins científicos e mantidos sob rigoroso sigilo, assegurando sua privacidade.



Para sua segurança, você poderá pedir para fazer pausas sempre que desejar, ou encerrar a participação a qualquer momento. Haverá acompanhamento de profissionais treinados durante todo o estudo, e, caso seja identificado algum desconforto emocional, será oferecido suporte imediato e, se necessário, encaminhamento para atendimento especializado.

IV - RISCOS ESPERADOS

A pesquisa é considerada de baixo risco, mas algumas situações podem ocorrer. Entre elas estão desconfortos físicos, como tontura, náusea ou dor de cabeça efeito chamado *motion sickness*, comum em alguns jogos ou simulações de realidade virtual, além de cansaço mental devido ao tempo de exposição às imagens virtuais. Também pode haver desconforto emocional, manifestado em forma de leve ansiedade ou excitação acima do habitual.

Para reduzir esses riscos, haverá monitoramento constante por um pesquisador durante as sessões. Os experimentos ocorrerão em ambientes seguros e controlados, sem riscos físicos de queda ou colisão, e qualquer desconforto será imediatamente acolhido.

V - BENEFÍCIOS ESPERADOS

A participação nesta pesquisa pode não gerar benefícios diretos e imediatos para os voluntários, no Entretanto, sua colaboração contribuirá para o avanço das pesquisas sobre emoções e realidade virtual, para o desenvolvimento de tecnologias que adaptem cenários virtuais ao estado emocional do usuário. Além disso, sua participação ajudará a reduzir o estigma relacionado ao uso da tecnologia no cuidado emocional.

VI - DIREITOS DO PARTICIPANTE

A participação é totalmente voluntária e pode ser interrompida a qualquer momento, sem qualquer tipo de penalidade. Não haverá custos para o voluntário, que será ressarcido(a) por eventuais



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES
HUMANOS-COEP

despesas. Todas as informações coletadas serão tratadas de forma confidencial e anônima, sendo acessadas apenas pelos pesquisadores. Os dados ficarão armazenados em sistema seguro, com cópias criptografadas.

VII - CONSENTIMENTO

Declaro que li este documento, compreendi as informações e tive a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas. Estou ciente dos objetivos, procedimentos, riscos e benefícios e concordo em participar da pesquisa de forma livre e esclarecida.

Assinatura do(a) participante: _____

Data: ____/____/____

Assinatura do pesquisador responsável: _____

Data: ____/____/____

ATENÇÃO! Por sua participação, você: não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira; terá o direito de desistir a qualquer momento, retirando o consentimento sem nenhuma penalidade e sem perder quaisquer benefícios. Em caso de dúvida quanto aos seus direitos, escreva para o Comitê de Ética em Pesquisa em seres humanos da UFLA. Endereço – Campus Universitário da UFLA, Pró-reitoria de pesquisa, COEP, caixa postal 3037. Telefone: 3829-5182. **Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada com o pesquisador responsável e a outra será fornecida a você.**

Apêndice B: Questionário dos Participantes**Questionário dos participantes****Seção 1 – Perfil do participante****1. Idade**

- ☐ 18–25 anos
- ☐ 26–35 anos
- ☐ 36–45 anos
- ☐ 46–55 anos
- ☐ acima de 55 anos

2. Sexo

- ☐ Feminino
- ☐ Masculino
- ☐ Prefiro não informar

3. Escolaridade

- ☐ Ensino Fundamental
- ☐ Ensino Médio
- ☐ Ensino Superior
- ☐ Pós-graduação



Seção 2 – Familiaridade com tecnologia

4. Como você avalia sua experiência com computadores e tecnologias digitais?

☐ Muito baixa

☐ Baixa

☐ Média

☐ Alta

☐ Muito alta

5. Você já utilizou Realidade Virtual antes desta pesquisa?

☐ Nunca

☐ Uma vez

☐ Algumas vezes

☐ Frequentemente

6. Você já utilizou algum equipamento de EEG?

☐ Sim

☐ Não



Seção 3 – Experiência durante o experimento

Utilize a escala abaixo.

1 = Discordo totalmente

2 = Discordo

3 = Nem concordo nem discordo

4 = Concordo

5 = Concordo totalmente

7. O ambiente virtual foi fácil de compreender.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

|

8. A sensação de imersão foi satisfatória.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

9. Os sons do ambiente contribuíram para a experiência.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

10. Os elementos visuais contribuíram para a sensação de presença.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐



11. Durante o experimento senti-me confortável utilizando os equipamentos

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

12. O uso do EEG não causou desconforto significativo.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

13. O equipamento de Realidade Virtual permaneceu confortável durante toda a sessão.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

Seção 4 – Percepção emocional

14. Durante a experiência senti-me relaxado(a).

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

15. Durante a experiência senti aumento da atenção.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

16. O ambiente virtual despertou alguma emoção perceptível.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐



17. Em comparação ao início do experimento, meu estado emocional mudou ao final da sessão.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

18. Caso tenha percebido mudança emocional, ela foi predominantemente:

☐ Muito negativa

☐ Negativa

☐ Neutra

☐ Positiva

☐ Muito positiva

Seção 5 – Avaliação geral

19. Você participaria novamente deste experimento?

☐ Sim

☐ Talvez

☐ Não

20. Você acredita que a combinação entre Realidade Virtual e EEG pode contribuir para pesquisas sobre emoções?

☐ Discordo totalmente

☐ Discordo

☐ Neutro



☐ Concordo

☐ Concordo totalmente

21. Na sua opinião, essa tecnologia possui potencial para aplicações futuras em saúde, educação ou treinamento?

☐ Sim

☐ Não

☐ Talvez

Seção 6 – Questões abertas

22. Como você descreve sua experiência durante o experimento?

23. O que mais chamou sua atenção durante a experiência?



24. Houve algum momento de desconforto? Caso sim, descreva.

25. Que sugestões você daria para melhorar o experimento?
