



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Instituto de Matemática e Estatística

Claudio Henrique Medaber Jambo

**Integração de tecnologias embarcadas controladas por
Inteligência Artificial: uma aplicação para apoiar o tratamento
de fobias**

Rio de Janeiro
2023

Claudio Henrique Medaber Jambo

**Integração de tecnologias embarcadas controladas por Inteligência Artificial:
uma aplicação para apoiar o tratamento de fobias**



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Computacionais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa

Rio de Janeiro
2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/A

J27

Jambo, Claudio Henrique Medaber.

Integração de tecnologias embarcadas controladas por inteligência artificial: uma aplicação para apoiar o tratamento de fobias/ Claudio Henrique Medaber Jambo. – 2023.

95f.: il.

Orientadora: Rosa Maria Esteves Moreira da Costa

Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática e Estatística.

1. Realidade virtual - Teses. 2. Fobias - Teses. 3. Inteligência artificial - Teses. I. Costa, Rosa Maria Esteves Moreira da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Matemática e Estatística. III. Título.

CDU 004.946

Patricia Bello Meijinhos CRB7/5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Claudio Henrique Medaber Jambo

**Integração de tecnologias embarcadas controladas por Inteligência Artificial:
uma aplicação para apoiar o tratamento de fobias**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Computacionais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 31 de Julho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rosa Maria Esteves Moreira da Costa (Orientador)
Instituto de Matemática e Estatística - UERJ

Prof. Dr. Diego Leonel Cadette Dutra
COPPE/UFRJ

Prof. Dr. Raimundo José Macário Costa
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Prof. Dr. Priscilla Fonseca de Abreu Braz
Instituto de Matemática e Estatística - UERJ

Prof. Dr. Vera Maria Benjamim Werneck
Instituto de Matemática e Estatística - UERJ

Rio de Janeiro
2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Hermano e Yvonne, atualmente em outro plano, pelas incontáveis lições de vida e, acima de tudo, por todo o amor e dedicação incondicionais. Tenho a certeza de que estão orgulhosos por mais essa minha conquista. Devo tudo que sou a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha esposa Ana e aos meus filhos Pedro e Guilherme, os amores das minhas vidas, pelo constante apoio, paciência e amor incondicionais. Vocês são muito mais do que eu poderia desejar em minha vida.

Agradeço aos meus irmãos Nadja, Zoraya e Cezar por todo o apoio para superar desafios e obstáculos.

Também expresso minha profunda gratidão à minha orientadora Rosa, cuja sabedoria, orientação e comprometimento foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ainda a todos os professores, colegas do curso de mestrado e colaboradores que contribuíram de alguma forma para o enriquecimento deste trabalho. Suas trocas de conhecimento e companheirismo foram fundamentais.

Por fim, dedico este trabalho à comunidade científica. Que este trabalho possa contribuir de alguma maneira para o avanço do conhecimento em nossa área de estudo.

Que esta dissertação não seja apenas um registro do meu aprendizado, mas também uma fonte de inspiração e de conhecimento para quem busca contribuir para a ciência em nosso país.

Quando penso que cheguei ao meu limite,
descubro que tenho forças para ir além.
Ayrton Senna da Silva

RESUMO

JAMBO, Claudio Henrique Medaber. *Integração de tecnologias embarcadas controladas por Inteligência Artificial: uma aplicação para apoiar o tratamento de fobias*. 2023. 94. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Nos últimos anos, a área da saúde tem recebido contribuições tecnológicas que fornecem suporte para práticas de diagnóstico, acompanhamento e tratamento de diferentes distúrbios e doenças, combinando, principalmente, várias técnicas de Inteligência Artificial, Realidade Virtual e Computação móvel. Muitos desafios se apresentam para integrar essas tecnologias e fornecer soluções que considerem a automatização de processos, a simplificação da interação entre profissionais e pacientes, o baixo preço dos equipamentos, a individualização no uso, a mobilidade e o uso de estratégias de Inteligência Artificial. Visando superar limitações de dois trabalhos anteriores, que aplicavam combinações tecnológicas na dessensibilização de estresse e fobias, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma combinação tecnológica que integra um ambiente virtual autônomo e de baixo custo embarcado em uma placa ESP32, com controle de multiagentes, com suporte à comunicação por linguagem natural, para ser utilizado no Tratamento por Exposição em Ambientes Virtuais - VRET na área de Psicologia Clínica, mais especificamente relacionada aos Transtornos de Ansiedade. Foram usados óculos de realidade virtual de baixo custo, com visualização em um *smartphone*. O protótipo, denominado PhobIA 3DS, é controlado por multiagentes que possui módulos de captura de sinais fisiológicos (frequência cardíaca); usa linguagem natural para obter o nível de ansiedade percebido pelo paciente; considera essas duas informações em um módulo Fuzzy, que por sua vez, gera uma resposta sobre o nível de ansiedade calculada; e controla e altera a exibição de cenários específicos para cada nível de ansiedade. Por fim, o sistema foi avaliado por um grupo de profissionais experientes, para verificar aspectos da interface, relevância e usabilidade. Os dados obtidos pela avaliação apontaram resultados positivos e boas perspectivas de uso do sistema em atividades reais.

Palavras-chave: VRET. Lógica Fuzzy. Terapia virtual. Ambiente virtual 3D. Microcontroladores.

ABSTRACT

JAMBO, Claudio Henrique Medaber. *Integration of embedded technologies controlled by Artificial Intelligence: an application to support treatment of phobias*. 2023. 94. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

In recent years, the health area has received technological contributions that provide support for diagnostic practices, monitoring and treatment of different disorders and diseases, mainly combining various techniques of Artificial Intelligence, Virtual Reality and Mobile Computing. There are many challenges to integrate these technologies and provide solutions that consider the automation of processes, the simplification of interaction between professionals and patients, the low price of equipment, the individualization of use, mobility and the use of Artificial Intelligence strategies. Aiming to overcome limitations of two previous works, which applied technological combinations in the desensitization of stress and phobias, this work aims to develop a technological combination that integrates an autonomous and low-cost virtual environment embedded in an ESP32 board, with multi-agent control, with support for natural language communication, to be used in the Treatment by Exposure in Virtual Environments - VRET in the area of Clinical Psychology, more specifically related to Anxiety Disorders. Low-cost virtual reality glasses were used, with visualization on a smartphone. The prototype, called PhobIA 3DS, is controlled by multi-agents that have modules for capturing physiological signals (heart rate); uses natural language to obtain the level of anxiety perceived by the patient; considers these two pieces of information in a Fuzzy module, which, in turn, generates a response on the calculated level of anxiety; and controls and changes the display of specific scenarios for each level of anxiety. Finally, the system was evaluated by a group of experienced professionals, to verify aspects of the interface, relevance and usability. The data obtained by the evaluation showed positive results and good prospects for using the system in real activities.

Keywords: VRET. Fuzzy Logic. Virtual therapy. 3D virtual environment. Microcontrollers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cena do sistema ARVET de visualização de cenas 3D.	15
Figura 2 – Cena do EMVR mostrando a bola que se movimenta durante a visualização estereoscópica.	16
Figura 3 – Etapas consideradas no desenvolvimento do PhobIA 3DS.	18
Figura 4 – Placa de prototipagem Arduino UNO (ARDUINO, 2021).	20
Figura 5 – Interface de programação do Arduino com parte do código de teste de sensor.	21
Figura 6 – Placa de prototipagem modelo Esp32-VROOM-32D (STUDIO PIETERS, 2022).	22
Figura 7 – Funções de pertinência para a variável temperatura (TANSCHHEIT, 2004).	27
Figura 8 – Sensor de frequência cardíaca do tipo PPG (PULSE SENSOR, 2022).	30
Figura 9 – Óculos RV de baixo custo (mRV) utilizado neste trabalho (ÓCULOS VR WARRIOR, 2022)	31
Figura 10 – Visão geral dos cenários e dos recursos do sistema.	39
Figura 11 – Modelo de dependência estratégica (SD)	43
Figura 12 – Diagrama de comunicação e interação dos agentes.	45
Figura 13 – Diagrama de atividades dos agentes do sistema PhobIA 3DS (Bizagi Modeler).	46
Figura 14 – Tela de programação de eventos (Blueprint) do <i>Unreal Engine 4</i> utilizada no protótipo.	47
Figura 15 – Foto do primeiro protótipo desenvolvido para testes de conexão e transmissão de dados entre o Arduino UNO, o sensor e o <i>Unreal Engine 4</i> instalado no computador.	48
Figura 16 – Foto do segundo protótipo desenvolvido para teste de conexão <i>Bluetooth</i> e envio de dados do sensor PPG para o computador.	48
Figura 17 – Placa Arduino Nano 33 BLE Sense.	49
Figura 18 – Sensor de Frequência cardíaca (SICHIRAY TECH., 2022).	50
Figura 19 – Módulo Shield V3 (USAINFO, 2022)	51
Figura 20 – Medição de corrente de descarga do Sistema com um amperímetro.	51
Figura 21 – Visão externa da caixa de circuitos.	52
Figura 22 – Visão interna da caixa de circuitos.	53
Figura 23 – Etapas do sistema difuso.	54
Figura 24 – Parâmetros da lógica difusa para a Tarefa 1 (Núcleo 1).	55
Figura 25 – Parte do código em C++ embarcado.	56
Figura 26 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Informada.	58
Figura 27 – Funções de pertinência para a variável Frequência Cardíaca.	58
Figura 28 – Funções de pertinência para a variável Frequência Cardíaca no valor 75.	61
Figura 29 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Informada no valor 3.	61

Figura 30 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Calculada. Valor de saída $\approx 2,04$	62
Figura 31 – Blocos de programação utilizados no Módulo Paciente.	63
Figura 32 – Tela inicial do Módulo Paciente.	64
Figura 33 – Tela de seleção de dispositivos <i>Bluetooth</i>	65
Figura 34 – Cena 3D para Acrofobia (3D 'N' PLAY, 2022).	66
Figura 35 – Tela principal do Módulo Terapeuta sendo apresentada em três situações diferentes de medição.	67
Figura 36 – Fluxo de integração de <i>software</i> e de <i>hardware</i>	68
Figura 37 – Teste inicial do sistema em sua montagem final.	69
Figura 38 – Vídeo 3D Tobogã (360 VACATION VR , 2018).	72
Figura 39 – Vídeo 3D Avião (S GAMING VR , 2023).	73
Figura 40 – Resultado da pergunta "Qual sua faixa etária?".	73
Figura 41 – Resultado da pergunta "Há quanto tempo você trabalha na área de terapia comportamental?".	73
Figura 42 – Resultado da pergunta "Você trabalha em que tipo de instituição?".	74
Figura 43 – Resultado da pergunta "Qual é o seu nível de experiência pessoal no uso de tecnologias computacionais e de comunicação?".	74
Figura 44 – Resultado da pergunta "Você usa tecnologias computacionais e de comunicação na sua prática de trabalho com seus pacientes?".	74
Figura 45 – Média dos resultados obtidos em cada proposição da dimensão "Relevância".	76
Figura 46 – Média dos resultados obtidos em cada item da categoria "Interface".	77
Figura 47 – Média dos resultados obtidos em cada item da categoria "Usabilidade".	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de funcionalidades entre os trabalhos citados.	35
Tabela 2 – Uso do sistema 3D proposto	39
Tabela 3 – Gestão da sessão	40
Tabela 4 – Gestão da cena	41
Tabela 5 – Gestão da ansiedade	42
Tabela 6 – Escala SUDS	57
Tabela 7 – Equações de reta das variáveis de entrada adaptadas de Cons e Costa (2022)	59
Tabela 8 – Regras de inferência para as variáveis de entrada (CONS; COSTA, 2022)	59
Tabela 9 – Escala Liker	75
Tabela 10 – Instrumento de avaliação da relevância do sistema	75
Tabela 11 – Instrumento de avaliação da interface do sistema	75
Tabela 12 – Instrumento de avaliação da usabilidade do sistema - SUS	76
Tabela 13 – Tabela para cálculo da usabilidade do sistema (SUS).	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TEPT	Transtorno de Estresse Pós-Traumático
VRET	Terapia por Exposição à Realidade Virtual
RV	Realidade Virtual
IA	Inteligência Artificial
PLN	Processamento de Linguagem Natural
MAS	Sistema Multiagente
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
BLE	<i>Bluetooth</i> de Baixa Energia
MMP	<i>Massively Parallel Processing</i>
SMP	<i>Shared Memory Processing</i>
EEG	Eletroencefalografia
EMG	Eletromiografia
MRGP	Monitoramento da Resistência Galvânica da Pele
PPG	Fotopletismografia
EKG	Eletrocardiograma
HMD	<i>Head-mounted Display</i>
mVR	<i>Mobile Virtual Reality</i>
EDA	Atividade Eletrodérmica da Pele
LED	Diodo Emissor de Luz
API	Interface de Programação de Aplicação
BPM	Batimentos por Minuto
SUDS	<i>Subjective Units of Distress Scale</i>
eFLL	<i>Embedded Fuzzy Logic Library</i>
TCLE	Termo de Compromisso Livre e Esclarecido
SUS	<i>System Usability Scale</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	REVISÃO TEÓRICA	19
1.1	Sistemas embarcados	19
1.1.1	<u>Plataformas de prototipagem eletrônica</u>	19
1.1.2	<u>A plataforma Arduino</u>	20
1.1.3	<u>A plataforma Esp32</u>	21
1.2	Processamento paralelo e distribuído	22
1.2.1	<u>Tipos de processamento paralelo</u>	22
1.2.2	<u>Tipos de multiprocessamento</u>	23
1.3	Inteligência artificial - IA	23
1.3.1	Sistemas multiagentes	24
1.3.1.1	<u>Principais características dos agentes</u>	25
1.3.2	<u>Lógica Fuzzy</u>	26
1.3.2.1	<u>Operações com conjuntos <i>Fuzzy</i></u>	28
1.3.3	<u>Processamento de linguagem natural - PLN</u>	29
1.4	Sensores fisiológicos	29
1.5	Realidade virtual	30
1.5.1	<u>Equipamentos imersivos</u>	30
1.5.2	<u>Motores de <i>software</i> para simulação de ambientes virtuais (<i>Engines</i>)</u>	31
1.6	Transtornos de ansiedade	31
1.6.1	<u>Fobia específica</u>	31
2	TRABALHOS RELACIONADOS	33
2.1	Análise dos trabalhos citados	35
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	37
3.1	Visão geral	37
3.1.1	Requisitos Funcionais	37
3.1.2	<u>Requisitos Não Funcionais</u>	38
3.1.3	<u>Cenários de uso</u>	38
3.1.3.1	<u>Cenário 1: Uso do sistema</u>	39
3.1.3.2	<u>Cenário 2: Gestão da sessão</u>	40
3.1.3.3	<u>Cenário 3: Gestão da cena</u>	40
3.1.3.4	<u>Cenário 4: Gestão da ansiedade</u>	41
3.2	Modelagem do sistema	42
3.2.1	<u>Roteiro de execução</u>	45
3.3	Prototipagem de <i>hardware</i>	47
3.3.1	<u>Primeiro protótipo</u>	47
3.3.2	<u>Segundo protótipo</u>	48
3.3.3	<u>Terceiro protótipo</u>	49
3.3.4	<u>Quarto protótipo</u>	49

3.4	Prototipagem de <i>software</i>	53
3.4.1	<u><i>Software</i> embarcado</u>	53
3.4.2	<u>Programas <i>Android</i></u>	62
3.4.2.1	<u>Módulo Paciente</u>	62
3.4.2.2	<u>Módulo Terapeuta</u>	66
3.5	Integração de <i>software</i> e <i>hardware</i>	67
4	AVALIAÇÃO DO SISTEMA	70
4.1	Procedimentos dos testes com participantes voluntários	71
4.2	Preparação da sessão	71
4.3	Preparação do sistema PhobIA 3DS	71
4.4	Roteiro de execução	71
4.5	Resultados obtidos	73
4.5.1	<u>Dados relativos ao perfil de cada voluntário</u>	73
4.5.2	<u>Dados relativos à usabilidade do sistema</u>	75
4.5.2.1	<u>Discussão dos resultados da avaliação do sistema</u>	77
4.5.3	<u>Sugestões e considerações dos profissionais</u>	79
	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ES- CLARECIDO	90
	APÊNDICE B - Questionário para avaliar o protótipo do Sis- tema 3D multiagente de baixo custo para tratamento de fobias em tempo real com lógica difusa embarcada	92

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os domínios da saúde têm recebido contribuições tecnológicas que alteraram as práticas de diagnóstico, acompanhamento e tratamento de diferentes distúrbios e doenças (NANDAKUMAR et al., 2009), (MOLITOR, 2012), (TIAN et al., 2019).

As técnicas atuais de visualização e análise de dados, comunicação, imagens 3D, aliadas às tecnologias de Inteligência Artificial (IA) (TIAN et al., 2019), computação móvel (STUTZEL et al., 2019), Internet das coisas (IoT) (KAUR; KUMAR; KUMAR, 2019) e Realidade Virtual (RV) (KOSONOGOV et al., 2023) impulsionaram a criação de sistemas e aplicativos, que de forma crescente são mais sofisticados, confortáveis e precisos.

Entretanto, cada tecnologia possui suas fragilidades e devem ser contextualizadas no domínio que serão exploradas. Na área da saúde, muitos são os desafios associados ao uso de novas tecnologias e relacionam-se à precisão de sistemas, custos de desenvolvimento e de uso, telecomunicação, falta de conhecimento por parte da equipe de saúde, dificuldade de acesso a equipamentos adequados, dentre outros (NETO et al., 2020), (NOVAES; SOÁREZ, 2020), (THAKARE; KHIRE; KUMBHAR, 2022), (ILIN et al., 2022).

Especificamente, a área de tratamento de distúrbios neuropsiquiátricos tem explorado várias tecnologias para reproduzir cenários virtuais de estimulação cognitiva, tratamentos de síndromes de pânico e síndromes variadas, dentre outras. Em Riva (2005) a realidade virtual é considerada tão efetiva quanto a realidade para induzir respostas emocionais. No trabalho de Nugraha (2021) é feita uma revisão da literatura sobre o uso do Tratamento por Exposição em Ambientes Virtuais (VRET) em pacientes com Transtorno de Estresse Pós-traumático (TEPT) onde, segundo os autores, o VRET permite criar estímulos traumáticos mais controlados e realistas. Segundo Pereira, Faêda e Coelho (2020), a terapia de exposição usando realidade virtual é uma ferramenta importante para o tratamento de fobias, que pode ser uma opção de baixo custo, se usar equipamentos de imersão mais limitada, como os *smartphones* inseridos em suportes de visualização feitos de plástico. O VRET permite que os pacientes recebam diferentes níveis de estímulos traumáticos usando imersões de visão, som e *feedback* tátil, que corresponde ao princípio da dessensibilização sistemática (SD).

Segundo Kothgassner et al. (2022), o uso do *biofeedback* baseado em RV é uma técnica relativamente nova e que está cada vez mais, sendo utilizada no tratamento dos transtornos de ansiedade. O *biofeedback* é um método que utiliza biossensores, como eletrodos, de forma a medir as reações fisiológicas do paciente em tempo real. Essa resposta fisiológica não é um processo consciente, e pode ser avaliada usando diferentes medidas, como por exemplo, a atividade eletro-dérmica da pele e a frequência cardíaca.

Em 2004, Botella et al. (2004) destacou as principais desvantagens do VRET: o custo dos *softwares* e dos equipamentos necessários; as dificuldades dos terapeutas no manuseio desses equipamentos e a falta de flexibilidade para individualizar os programas de acordo com as necessidades de cada indivíduo. Quase 20 anos se passaram, as pesquisas avançaram, mas essas barreiras persistem, independentemente das combinações tecnológicas adotadas.

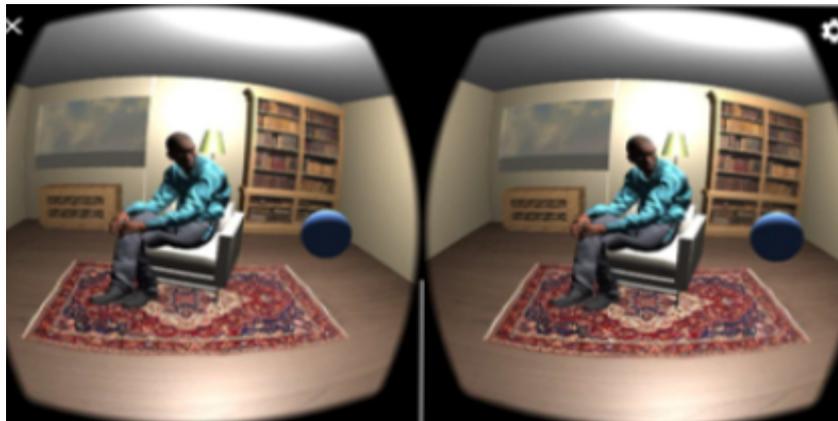
Para individualizar as estratégias de oferta de apresentação de cenas por meio de *software* é fundamental o uso de controles com algum nível de inteligência. Nesse sentido, na proposta de Oliveira et al. (2012) foi desenvolvido um Sistema para dessensibilizar pessoas com Transtorno de Estresse Pós-traumático (TEPT), que foi composto por dois módulos. O primeiro controlava um sistema Fuzzy, que recebia dois tipos de dados fornecidos pelo terapeuta: o nível de ansiedade percebido pelo paciente, a partir de uma escala psicométrica (SUDS - Subjective Units of Disturbance Scale); e a sua frequência cardíaca. O sistema Fuzzy combinava essas duas variáveis e gerava o grau de ansiedade calculado. Por sua vez, o médico recebia essa informação do sistema Fuzzy e a repassava para o outro módulo, o ARVET, que era responsável por apresentar as cenas de Realidade Virtual (RV). Nesse caso, o uso de Inteligência Artificial (IA) ficava restrita ao uso do módulo Fuzzy, sendo que, o controle do nível de estímulos associado a cada cena ficava a cargo do terapeuta. As cenas eram apresentadas em uma tela plana, com uso de óculos similares aos utilizados nos cinemas em filmes 3D (Figura 1). Este sistema teve como desvantagens a necessidade de ter um ambiente físico específico para o uso do sistema e a intervenção constante do terapeuta na captura da frequência cardíaca, na entrada desse dado no sistema e no gerenciamento da apresentação das cenas.

Um segundo trabalho, de Cons e Costa (2022), visou superar alguns dos problemas do sistema anterior, desenvolvendo um ambiente, denominado EMVR, que integrou além de técnicas de IA e de RV utilizando as estratégias EMDR (Eye Movement Desensitization and Reprocessing) para dessensibilizar eventos traumáticos passados. O sistema é uma representação 3D de um consultório com um terapeuta virtual que induz o usuário a realizar movimentos oculares, enquanto se comunica com ele por meio de fala. Este trabalho evoluiu a proposta de Oliveira et al. (2012), usando o smartphone em suporte de baixo custo, facilitando o acesso às cenas e também, usou um módulo Fuzzy para calcular o grau de ansiedade do paciente. A partir do resultado do módulo Fuzzy, o módulo RV aumentava ou diminuía a velocidade da bolinha, que guiava o movimento dos olhos (Figura 2). Este sistema foi modelado usando a abordagem de Multiagentes, mas sua implementação não contemplou o controle automatizado do sistema. O terapeuta tinha de fornecer ao sistema o valor da escala SUDs e da frequência cardíaca do paciente.

Figura 1 – Cena do sistema ARVET de visualização de cenas 3D.



Figura 2 – Cena do EMVR mostrando a bola que se movimenta durante a visualização estereoscópica.



Os trabalhos de Cons e Costa (2022) e de Oliveira et al. (2012) evidenciaram as dificuldades técnicas envolvidas no desenvolvimento de sistemas automatizados que integram módulos de IA com outras tecnologias. Outro aspecto observado foi a dificuldade que os profissionais tiveram em manipular os sistemas e equipamentos envolvidos na experiência de uso. Outro ponto negativo a ser destacado é a necessidade de montagem de aparatos de visualização, como no primeiro sistema, e de capturar a frequência cardíaca e passar as informações para o sistema de forma manual em ambos sistemas.

As limitações desses trabalhos nos impeliram a buscar novas soluções, que considerassem a automatização de processos, a simplificação da interação entre profissionais e pacientes, o baixo preço, a individualização no uso, a mobilidade e o uso de estratégias da Inteligência Artificial. Nesse contexto, desponta a possibilidade de agrupar várias tecnologias em um potente equipamento de tamanho reduzido: um sistema embarcado em uma placa que integra *software* e *hardware* para apoiar um sistema. Um dispositivo para sistemas embarcados congrega *software* e *hardware* em um só equipamento com microcontroladores, sensores e atuadores, que não necessita de componentes externos. Em geral, eles são projetados para aplicações específicas e não suportam outros aplicativos, ou conexão de novos periféricos (EBERT; SALECKER, 2009).

Sistemas embarcados têm sido desenvolvidos para diversos tipos de aplicações em variadas áreas. Por exemplo, para controlar a dispersão de água em uma plantação a partir da verificação do nível de umidade da terra (MISHRA et al., 2018); para visão computacional em sistemas de Internet das coisas (IoT) (QURESHI et al., 2021); na área de ensino, foi desenvolvida uma plataforma embarcada para guiar o aprendizado na área de programação embarcada (SILVA et al., 2019).

Rghioui e Oumnad (2018) realizaram uma revisão de trabalhos da área da saúde em que os sistemas IoT foram utilizados explorando variadas tecnologias. Segundo os autores, os cuidados da saúde de forma conectada está crescendo devido à disponibilidade de novas ferramentas e equipamentos. Alguns desses equipamentos são implantados, como os implantes de ouvido e sensores de glicose para pessoas diabéticas, outros são externos, como o celular que é usado para guiar pessoas cegas em determinados espaços preparados para a navegação desse público ou sensores cardíacos, que usam o bluetooth para a transmissão de dados. Nesta área observa-se que uma das tecnologias que aparece com frequência no contexto de sistemas IoT é o Arduino, que é acessível por ser uma tecnologia barata e de fácil programação (RAZA et al., 2020).

Nesse sentido, Bora et al. (2021) desenvolveram um sistema usando Arduino e Rasp-

berry PI para monitorar o ritmo cardíaco, temperatura corporal e atividade elétrica de pessoas idosas que estão em suas casas. Foi usado também, um GPS para rastrear a localização e a movimentação do paciente. O sistema emitia alertas para os familiares e para a equipe médica quando algo estava fora dos padrões. Já Mahajan e Kaul (2022) usaram o Arduino em um sistema portátil de detecção de doenças, que capturava a frequência cardíaca para realizar eletrocardiograma em aparelhos portáteis e acessar regiões geográficas onde não havia essa tecnologia disponível para as populações. Trabalhos recentes têm proposto o uso de Arduino para monitorar atividades físicas e processos de reabilitação motora de pessoas com diferentes problemas físicos, que em geral têm acelerômetros acoplados a placas com microcontroladores, como em: (BANULEASA et al., 2016), (PASCUCCI et al., 2022), (FERRANDEZ et al., 2022) e (PHUOC; TUY et al., 2022).

Para encontrar trabalhos que combinem tecnologias embarcadas e aplicações em áreas de saúde mental, com foco em ansiedade e Transtorno de estresse pós-traumático, foi realizada uma busca no Scholar, nas bases do IEEE, da ACM e do Scopus, no entanto, poucos trabalhos foram encontrados.

Balbin et al. (2017) exploraram o rastreamento de movimentos faciais, a frequência cardíaca e a condutância da pele, integrados em uma placa Arduino para identificar Estresse Pós-traumático em pessoas que perderam familiares. Os autores usaram vídeos em tela plana para trabalhar os estados emocionais dos pacientes.

No contexto de dessensibilização de fobia de falar em público, Aljabri et al. (2020) desenvolveram um sistema que estimula a prática da fala, visando diminuir o medo e a ansiedade. Vídeos de 360° com visualização 3D foram utilizados e o sistema rastreava variações na voz e na frequência cardíaca para associar à variação emocional. Os sistemas foram embarcados em um microcontrolador Arduino e integravam aplicações de aprendizado de máquina e de reconhecimento de fala.

Objetivos do trabalho

Visando minimizar as desvantagens da VRET anteriormente citadas e considerando os resultados da revisão realizada, este trabalho tem por objetivo apresentar uma combinação tecnológica, que integra um ambiente virtual autônomo e de baixo custo embarcado em uma placa ESP32, com controle de multiagentes, com suporte a comunicação por linguagem natural, para ser utilizado em VRET. Os cenários apresentados aos usuários podem ser alterados em tempo real, com interferência mínima por parte do terapeuta e considerando as necessidades de cada paciente. A área de aplicação será a Psicologia Clínica relacionada aos Transtornos de Ansiedade, mais especificamente, às fobias.

Para a construção do protótipo foram utilizadas diversas tecnologias de *software* e de *hardware*. Foi usado como suporte os óculos de realidade virtual de baixo custo, com visualização em um *smartphone*. O protótipo, denominado PhobIA 3DS, é controlado por multiagentes, que integra módulos de captura de sinais fisiológicos (frequência cardíaca); usa linguagem natural para obter o nível de ansiedade percebido pelo paciente; considera essas duas informações em um módulo Fuzzy, que por sua vez, gera uma resposta sobre o nível de ansiedade calculada; e controla e altera a exibição de cenários específicos para cada nível de ansiedade. Por fim, o sistema foi avaliado por um grupo de profissionais, para verificar aspectos de usabilidade como: a interface, as funcionalidades e a sua validade.

A Figura 3 apresenta as etapas da metodologia adotada. Primeiramente, os conceitos básicos foram estudados. Em seguida, foram pesquisados os trabalhos relacionados

e as tecnologias associadas. Os requisitos do sistema foram definidos a partir dos resultados desses estudos. Um protótipo foi desenvolvido considerando algumas combinações tecnológicas. Foi realizada uma avaliação preliminar com profissionais da área de saúde mental

Figura 3 – Etapas consideradas no desenvolvimento do Phobia 3DS.



O trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: Descreve a fundamentação teórica do trabalho e detalha as técnicas da Inteligência Artificial aplicadas, a tecnologia de prototipagem eletrônica utilizada para sistemas embarcados, os tipos de sensores fisiológicos utilizados e os componentes de *software* e de *hardware* de Realidade Virtual utilizados para criação do ambiente imersivo. O capítulo também apresenta os conceitos básicos sobre os Transtornos de Ansiedade, especificamente com relação às fobias.
- Capítulo 2: Apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os trabalhos relacionados à aplicação da tecnologia de Realidade Virtual com utilização de sensores fisiológicos para medições em tempo real em seções de Terapia de Exposição à Realidade Virtual (VRET).
- Capítulo 3: Descreve, de forma detalhada, as etapas de modelagem e de desenvolvimento do sistema Phobia 3DS, a forma como as tecnologias de *software* e de *hardware* serão integradas e suas respectivas funções. O capítulo também descreve todo o desenvolvimento dos protótipos de *software* e de *hardware*.
- Capítulo 4: Apresenta os resultados da avaliação do sistema proposto feita por psicólogos clínicos.
- Capítulo 5: Apresenta as conclusões da dissertação assim como as propostas de trabalhos futuros.

1 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos básicos das diferentes áreas e tecnologias envolvidas neste trabalho. São descritas as plataformas que suportam os sistemas embarcados, destacando a composição das placas Arduino e os seus tipos de processamento. As técnicas de Inteligência Artificial consideradas nesta proposta são brevemente apresentadas. Os sensores de captura de sinais vitais humanos são definidos. Em seguida, a tecnologia de Realidade Virtual é apresentada, seguida pela descrição de conceitos da área de aplicação.

1.1 Sistemas embarcados

Os sistemas embarcados são caracterizados por uma estrutura de hardware e de *software*, geralmente dedicados a servir a outros sistemas. Os sistemas embarcados estão presentes nos mais variados segmentos como por exemplo: Periféricos de computador, eletrodomésticos, sistemas bélicos e indústria automotiva (GARCIA, 2018). Eles podem ser equipados com microcontroladores ou, em modelos mais complexos, utilizarem microprocessadores.

Em REIS (2015) são apresentadas as principais características dos sistemas embarcados:

- Baixo custo;
- Tamanho reduzido;
- Baixo consumo energético;
- Atuação especializada;
- Baixo tempo de resposta;
- *Firmware* atualizável

Esses sistemas embarcados são compostos por vários tipos de componentes e dispositivos, descritos brevemente a seguir.

1.1.1 Plataformas de prototipagem eletrônica

As Plataformas de Prototipagem Eletrônica, ou Placas de Prototipagem, são dispositivos eletrônicos compostos por circuitos integrados, portas de comunicação analógicas e digitais e unidades de processamento capazes de realizar diversas tarefas por meio de programação (FLUXO CONSULTORIA, 2019). Elas são utilizadas principalmente para construção de protótipos de automação de processos nas mais variadas áreas. Segundo Muratori e Bó (2011), automação é a integração entre os sistemas aliada à capacidade de

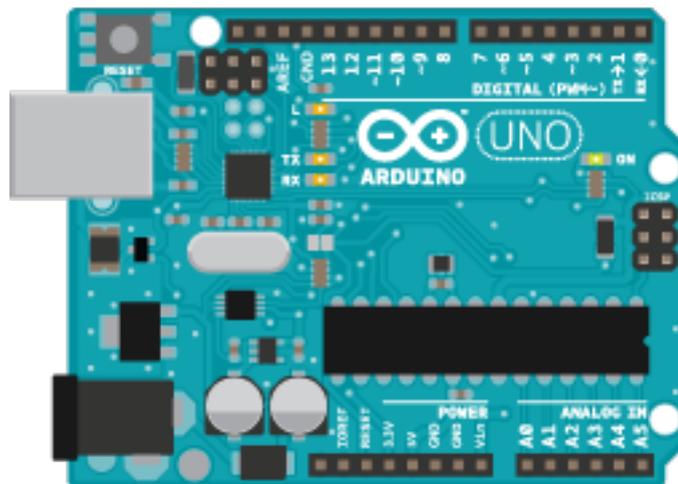
executar funções e comandos mediante instruções programáveis. Estes dispositivos podem variar muito em relação ao poder de processamento, tamanho e custo de aquisição. As plataformas de código aberto (Open Source) se destacam dentre os diversos modelos de placas disponíveis no mercado pois possuem *hardware* e *software* livres (USP CCSL, 2021). Dessa forma, a tecnologia conta com a contribuição de profissionais e amadores em todo o mundo para seu desenvolvimento e popularização.

Alguns exemplos de plataformas de prototipagem eletrônica são: Raspberry Pi, NodeMCU, Esp32, MinnowBoard Max e Galileo. A seguir, serão descritas algumas das características das plataformas Arduino e Esp32, visto que foram efetivamente utilizadas neste trabalho.

1.1.2 A plataforma Arduino

A plataforma de prototipagem de hardware livre e de código aberto chamada Arduino (Figura 4) nasceu no Ivrea (Interaction Design Institute). Por se tratar de uma ferramenta de fácil e rápida prototipação, ela permite que os usuários criem seus protótipos de forma independente e adaptados às suas necessidades particulares (ARDUINO, 2021).

Figura 4 – Placa de prototipagem Arduino UNO (ARDUINO, 2021).



A programação do microprocessador da placa Arduino é realizada por meio de uma interface de programação própria (IDE) e utiliza a linguagem C++. O programa é compilado pela IDE e transferido para a placa via cabo USB conectado a um computador. A figura 5 apresenta a interface de programação do Arduino com uma parte do código utilizado para testes no primeiro protótipo deste trabalho.

Figura 5 – Interface de programação do Arduino com parte do código de teste de sensor.

```

Prox | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Prox $

#include "Ultrasonic.h" //INCLUSÃO DA BIBLIOTECA NECESSÁRIA PARA FUNCIONAMENTO DO CÓDIGO
#include <SoftwareSerial.h>

// SoftwareSerial BTserial(11, 10); // RX, TX

const int echoPin = 7; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO HC-SR04 ECHO(RECEBE)
const int trigPin = 6; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO HC-SR04 TRIG(ENVIAR)

Ultrasonic ultrasonic(trigPin,echoPin); //INICIALIZANDO OS PINOS DO ARDUINO

int distancia; //VARIÁVEL DO TIPO INTEIRO
String result; //VARIÁVEL DO TIPO STRING

void setup(){
  pinMode(echoPin, INPUT); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA (RECEBE)
  pinMode(trigPin, OUTPUT); //DEFINE O PINO COMO SAIDA (ENVIAR)
  Serial.begin(9600); //INICIALIZA A PORTA SERIAL
  //BTserial.begin(9600);
}
void loop(){

  hcsr04(); // FAZ A CHAMADA DO MÉTODO "hcsr04()"
  // Serial.print("Distancia "); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
  Serial.println(result); ///IMPRIME NO MONITOR SERIAL A DISTÂNCIA MEDIDA
  //BTserial.println(result);
  //BTserial.println("Teste");

  // Serial.println("cm"); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL

```

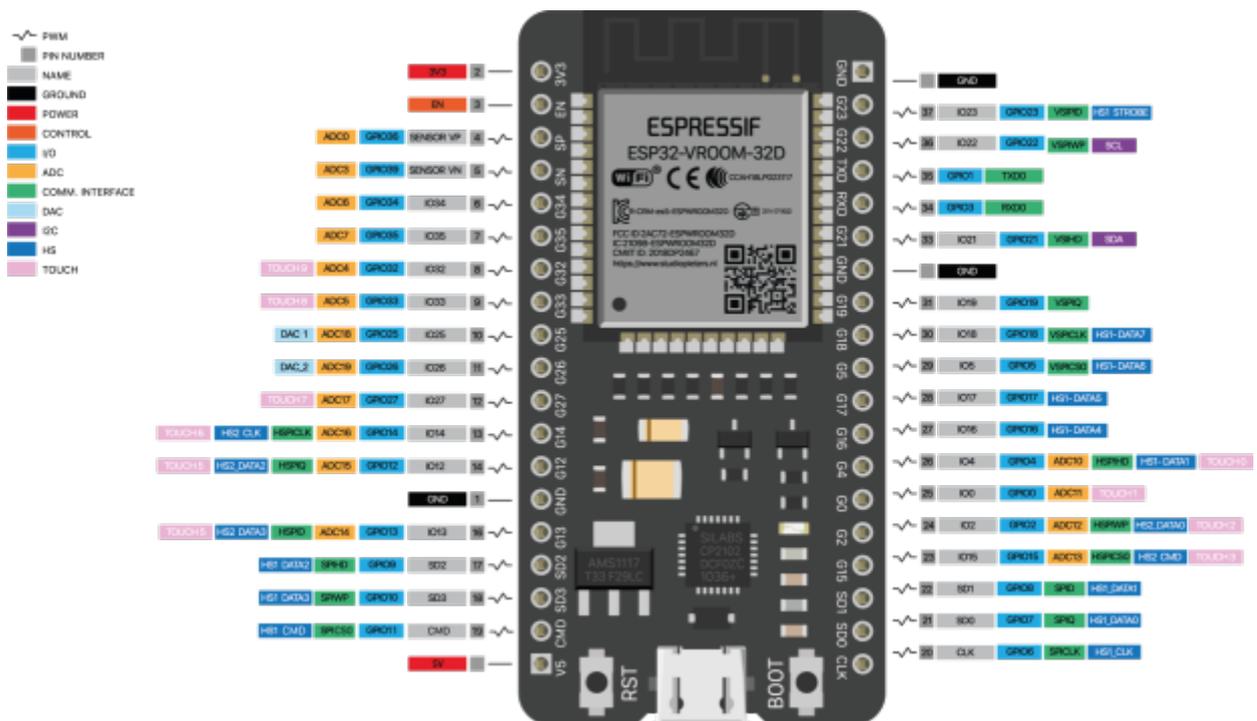
1.1.3 A plataforma Esp32

A plataforma de prototipagem Esp32 (Figura 6), fabricada pela Espressif Systems (ESPRESSIF, 2022), vem crescendo em popularidade tanto na comunidade de desenvolvedores em geral quanto na comunidade acadêmica (BABIUCH; FOLTÝNEK; SMUTNÝ, 2019). Segundo Babiuch, Foltýnek e Smutný (2019), sua popularidade tem sido acompanhada por uma oferta cada vez maior de variantes desse hardware. Em (ESPRESSIF, 2022) o Esp32 é descrito como um microcontrolador de baixo custo que pode ser equipado com um ou dois processadores de 240MHz de frequência e que possui uma série de componentes e sensores integrados como:

- Módulo Bluetooth de baixo consumo (BLE);

- Módulo de comunicação Wi-Fi;
- Sensor de temperatura;
- Sensor capacitivo (toque);
- Sensor de efeito Hall (campo magnético).

Figura 6 – Placa de prototipagem modelo Esp32-VROOM-32D (STUDIO PIETERS, 2022).



1.2 Processamento paralelo e distribuído

Segundo Blazewicz et al. (2013) a computação de alto desempenho é historicamente uma área especializada dentro da indústria de computadores, principalmente para atender às áreas da ciência, engenharia e defesa. Nos últimos anos, essa tecnologia tem se expandido para as mais diversas áreas. O paralelismo é um conceito computacional que abrange uma grande variedade de técnicas usadas na maioria das áreas da computação. Ainda em Blazewicz et al. (2013), a computação paralela consiste na utilização de vários processadores que cooperam entre si na resolução de um problema computacional executando várias instruções simultaneamente.

1.2.1 Tipos de processamento paralelo

Existem várias maneiras diferentes de se organizar os processadores em um processamento paralelo. Uma forma de se classificar de forma genérica esses modelos é classificando-os em duas famílias genéricas (BLAZEWICZ et al., 2013):

- **Memória Compartilhada:** Os processadores compartilham os mesmos endereços de memória nos quais todos podem realizar operações de leitura e de gravação. A memória compartilhada funciona como um “Quadro de Avisos” onde os processadores trocam dados e depositam os resultados dos cálculos.;
- **Rede de Interconexão:** Neste modelo, N processadores (P_1, P_2, \dots, P_N), onde $N \geq 2$, formam uma rede conectada. Cada par de processadores é conectado por um link de comunicação bidirecional. Neste modelo não há memória compartilhada, pois cada processador possui uma área de memória local reservada. Cada par de processadores, chamados de “vizinhos”, utilizam o link de comunicação para enviar e receber mensagens entre eles.

1.2.2 Tipos de multiprocessamento

Segundo Martos e Garrido (2017) existem dois tipos de multiprocessamento que se referem às características dos processadores envolvidos:

- *Massively Parallel Processing* (MPP): É caracterizado pelo uso de núcleos que possuem características diferentes como arquitetura e velocidade em um mesmo processador.
- *Shared memory processing* (SMP): É caracterizado pelo uso de um ou mais núcleos idênticos que utilizam uma memória principal compartilhada.

Segundo Witte et al. (2013), a arquitetura de multiprocessamento SMP consiste em um único sistema operacional gerenciando todos os núcleos do processador, permitindo um fácil gerenciamento do sistema e balanceamento de carga. Ainda segundo o autor, uma arquitetura MMP permite que cada núcleo do processador execute sua própria instância de um sistema operacional, ou seja, diferentes núcleos podem executar diferentes sistemas operacionais ou até mesmo executar um aplicativo independente.

Em sistemas embarcados, multiprocessamentos simétricos são os mais populares, porém, as plataformas de multiprocessamento assimétrico estão cada vez mais sendo desenvolvidas para este tipo de arquitetura. O multiprocessamento assimétrico pode oferecer um maior desempenho e uma separação mais limpa de subsistemas (WITTE et al., 2013).

1.3 **Inteligência artificial - IA**

Em Russell e Norvig (2016), existem 4 categorias principais de definições na comunidade científica sobre o que seria uma inteligência artificial: Pensamento como um humano, ação como um humano, pensamento racional e ação racional.

As diferentes abordagens em relação à IA estão relacionadas aos processos de pensamento, raciocínio, comportamento e sucesso em termos de fidelidade ao desempenho humano. Ainda em Russell e Norvig (2016), o conceito de Racionalidade está diretamente relacionado ao que se entende por inteligência. Um sistema é considerado racional se executa as tarefas de forma “correta” dadas as informações necessárias para que sejam executadas.

O Teste de Turing (TURING, 1950), foi proposto por Allan Turing para que fosse possível definir o que é inteligência. No teste não havia, propositalmente, interação física direta entre a máquina (computador) e seu interlocutor pois a simulação física de uma

pessoa se torna irrelevante para a inteligência. A proposta desse famoso teste, era promover uma conversa em linguagem natural com outro ser humano e com uma máquina programada para responder. Partindo da premissa que todos estivessem separados uns dos outros, caso o interlocutor não fosse capaz de distinguir a máquina de um humano, a máquina passaria no teste.

Atualmente, as tecnologias de inteligência artificial são as mais discutidas em pesquisa no âmbito da tecnologia da informação. Apesar da IA ser pesquisada há décadas, houve grandes avanços recentes principalmente nas subáreas de aprendizado de máquina e de aprendizado profundo (THIEBES; LINS; SUNYAEV, 2021). Segundo Girardi (2004), dependendo do grau de complexidade de um sistema de *software*, pode ser necessária a utilização de uma tecnologia específica dentre as várias disponíveis no âmbito da inteligência artificial. Ainda em Girardi (2004), o uso de um sistema multiagente é uma excelente escolha para aplicações que operam em ambientes que mudam rapidamente e onde agentes devem decidir o que fazer em qualquer situação para alcançar seus objetivos. Em Martins et al. (2020), por exemplo, os autores apresentam um sistema multiagente para a tomada de decisão sobre o estado cardíaco de pacientes, onde cada agente tem uma função definida, sendo o objetivo final o diagnóstico da doença. Em Coelho e Patto (2019) é apresentada uma simulação de mapa de estresse de uma sala de aula, ambiente que está sujeito a várias influências, no caso representadas pelos agentes, que alteram sua dinâmica constantemente.

Outra técnica de IA que será utilizada neste trabalho é a Lógica Fuzzy ou Lógica Difusa. A lógica Fuzzy difere da lógica booleana por considerar valores existentes entre o "0" e o "1" (MARRO et al., 2010). Segundo Ozsahin et al. (2020), a lógica Fuzzy se assemelha à metodologia de decisão humana pois interpreta informações imprecisas, baseadas em variáveis linguísticas, fenecendo ao final o resultado mais próximo do desejado. No trabalho de Naqvi et al. (2021) a lógica difusa é particularmente útil para tomada de decisão baseada em dados incertos e incompletos.

O Processamento de Linguagem Natural (PLN) é mais uma técnica de IA que será utilizada no PhobIA 3DS. O processamento de linguagem natural é formado por um conjunto de métodos de inteligência artificial cujo objetivo é tornar a linguagem humana acessível para computadores (EISENSTEIN, 2018). Segundo Otter, Medina e Kalita (2020), as áreas de aplicação de PNL envolvem áreas como: Extração de informações, tradução de texto, resumo de trabalhos escritos, resposta automática de perguntas por inferência de respostas e classificação e agrupamento de documentos. Nas seções seguintes, cada um dos tópicos de inteligência artificial anteriormente citados serão brevemente descritos.

1.3.1 Sistemas multiagentes

Segundo Shehory e Sturm (2014), um agente de *software* é uma entidade que executa tarefas em nome de outra entidade, podendo ser esta um outro *software*, um *hardware* ou até mesmo uma entidade humana. Ainda em Shehory e Sturm (2014), sistemas multiagentes (MAS) são um ramo da Inteligência Artificial que tenta combinar a própria IA com sistemas distribuídos e Engenharia de *software* em uma única disciplina. Várias metodologias foram avaliadas e implementadas nos últimos 30 anos, pela comunidade de engenharia de *software*, para o desenvolvimento de ferramentas de apoio aos MAS (SHEHORY; STURM, 2014). Ainda segundo Shehory e Sturm (2014), os sistemas multiagentes introduzem conceitos e abstrações que promovem uma nova abordagem para a implementação de sistemas de *software*.

Segundo Maes (1995), agentes de *software* são sistemas computacionais que fazem parte de um ambiente complexo e dinâmico e que podem agir de forma autônoma. Estes sistemas possuem um conjunto de objetivos (goals) ou tarefas (tasks) preestabelecidos. Em Robertson (2004), agentes são entidades autônomas capazes de tomar decisões independentes para satisfazer seus objetivos de design. Ainda segundo o autor, em sistemas multiagentes cada agente atua em benefício próprio. Dessa forma, torna-se necessário realizar uma sincronização e coordenação de suas atividades em tempo de execução. Em resumo, um sistema multiagente é formado por entidades autônomas capazes de perceber o ambiente em que se encontram e que executam ações para atingir seus objetivos (ROBERTSON, 2004).

Em Moya e Tolk (2007), outros atributos relacionados aos agentes são: Comunicação, cooperação, mobilidade, aprendizado e racionalidade.

1.3.1.1 Principais características dos agentes

Dentre as inúmeras características que os agentes de *software* podem possuir, existem, segundo Shehory e Sturm (2014), algumas que são consideradas as principais:

- **Autonomia:** A autonomia de um agente é uma das características mais importantes e distintivas do agente. Esta característica está diretamente relacionada à capacidade de um agente realizar tarefas não supervisionadas assim como perseguir seus objetivos sem que haja uma programação explícita para isso.

A autonomia de um agente, em muitos casos, também pode estar associada à proatividade, ou seja, a capacidade de iniciar ações e a antecipação de estados e eventos. A reatividade também é uma característica presente em um agente, visto que ele pode reagir a estados e eventos internos e externos ao seu ambiente.

Tanto a reatividade quanto a proatividade podem coexistir em um mesmo agente autônomo, ainda que a proatividade esteja mais comumente associada à autonomia.

- **Inteligência:** A origem da associação, entre inteligência e agente, provavelmente se origina da necessidade de um agente agir em nome de outro. Esta ação, em muitos casos, requer um nível de inteligência. Em última análise, os agentes inteligentes são aqueles que raciocinam sobre como agir para servir aos outros.

A inteligência do agente pode exigir capacidades como aprendizado, raciocínio, planejamento e tomada de decisão. Os resultados de suas ações podem servir para melhorar suas ações futuras por meio de aprendizado. Existem diversas abordagens arquiteturais para que o agente tenha o suporte necessário para desenvolver tais capacidades. A interação do agente de *software* com o ambiente, necessária para o desenvolvimento de suas capacidades, se dá por meio de sensores, sendo que suas ações são executadas por meio de atuadores.

Os agentes inteligentes e baseados em objetivos geralmente pertencem a um ambiente multiagente, onde precisam interagir de forma inteligente para atingir seus objetivos.

- **Sociabilidade:** Em um MAS, há a necessidade de um agente interagir com outros agentes e coordenar, colaborar ou competir com eles. Desse modo, é necessário que sua arquitetura inclua o suporte à sociabilidade. Esta capacidade deve fazer uso de um componente de comunicação que permita o envio, recebimento e processamento

de mensagens. A análise da mensagem e sua compreensão também são fundamentais para que o agente atinja seus objetivos dentro do sistema.

Para que ocorra a devida compreensão das mensagens se faz necessário que um agente mantenha informações a respeito de outros agentes, de forma a permitir e facilitar as interações entre eles.

- **Mobilidade:** A capacidade de movimentação física ou lógica de uma agente também é possível em alguns sistemas, ou seja, o agente se move de um ambiente de execução para outro. Um exemplo de mobilidade é o caso em que o agente está instalado em um dispositivo móvel como um telefone celular. Neste exemplo, o agente permanece instalado no dispositivo, porém, sua localização e características do ambiente podem variar a medida em que o aparelho se move.

Em todos os casos onde exista a possibilidade de movimentação por parte do agente (física ou lógica), é necessário que haja uma previsão arquitetural que permita que todos os agentes envolvidos possam corresponder a essas movimentações.

Outras capacidades podem ser necessárias como mecanismos de colaboração para formação de equipes e coalizões e comportamentos estratégicos em ambientes em que haja competição. Nesses ambientes especificamente, os agentes podem precisar de capacidades de negociação, como o uso de estratégias e argumentação.

- **Outras características:**

Existem outras características que podem estar presentes em um agente dentro de um MAS. A capacidade de se adaptar a mudanças de objetivos e de condições ambientais são características de grande importância.

Outra característica de grande importância é a interação com usuários humanos visto que, em muitos casos, os agentes realizam tarefas em nome deles. Para que ocorra essa interação humano-computador, os agentes podem ter um corpo físico, como no caso da robótica, ou simplesmente podem ser equipados com consoles de acesso como telas sensíveis a toque, teclados físicos, *joysticks*, interfaces de entrada de comando por voz, etc.

1.3.2 Lógica Fuzzy

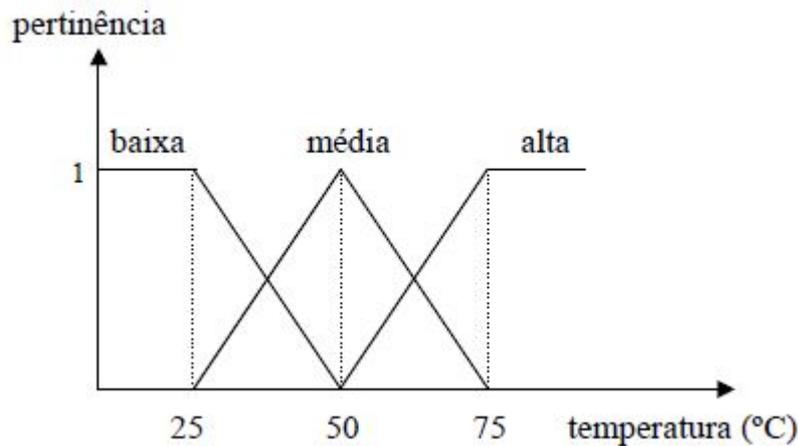
A Lógica Fuzzy, ou Lógica Difusa, foi publicada pela primeira vez em 1965 pelo matemático, engenheiro eletrônico e cientista da computação Lotfi Asker Zadeh (ZADEH, 1965). Zadeh foi o responsável por introduzir a Teoria dos Conjuntos Difusos. A Lógica Fuzzy, ao contrário da Lógica Booleana, pode ser entendida como uma situação onde não podemos responder simplesmente "Sim" ou "Não" (MARRO et al., 2010), ou seja, "0" ou "1". Na Lógica Fuzzy, são considerados os valores existentes entre o "0" e o "1". Tais valores, chamados de nebulosos, permitem uma maior abrangência de resultados para problemas complexos. Na Lógica Fuzzy, um determinado elemento possui um grau de pertinência em relação a um conjunto e não uma certeza como em sistemas binários. O grau de pertinência "0" indica que um elemento está totalmente fora do conjunto, enquanto o grau de pertinência "1" indica que um elemento pertence totalmente a ele (MARRO et al., 2010).

De acordo com (TANSCHHEIT, 2004), a Teoria de Conjuntos Fuzzy pode ser utilizada para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras. Este

sistema é chamado de Máquina (ou Motor) de Inferência. Um exemplo de variável linguística seria a temperatura de um determinado processo. A variável linguística "temperatura" poderia assumir os valores baixa, média, alta, etc.

A Figura 7 apresenta um exemplo de funções de pertinência para a variável temperatura.

Figura 7 – Funções de pertinência para a variável temperatura (TANSCHKEIT, 2004).



Na teoria clássica dos conjuntos, um elemento x pode ou não pertencer a um determinado conjunto Z , que por sua vez está definido em um universo U . Em um dado conjunto fuzzy A , este elemento x poderá pertencer parcialmente a este conjunto, possuindo um valor que irá variar de 0 a 1 e que definirá o quanto este elemento pertence ao conjunto. Este valor de 0 a 1 é definido como o grau de pertinência do elemento x ao conjunto Z , ou seja, representa a probabilidade de um elemento x de um determinado conjunto Z pertencer ao conjunto A (ABAR, 2004).

A função de pertinência sobre o conjunto fuzzy A é definida como:

$$\mu_A : Z \rightarrow [0,1]$$

As regras de inferência, definidas através de funções de pertinência, permitem que qualquer dado possa ser inserido em um sistema, permitindo a modelagem de valores imprecisos tornando-os menos complexos. Segundo ABAR (2004), atualmente esta técnica é amplamente utilizada no controle de processos industriais, além da utilização na área de tecnologia da informação.

Dados de origens diferentes também podem ser agregados, através de regras de inferência Fuzzy, para contribuir com as tomadas de decisões (RIGNEL, DIEGO; CHENCI, GABRIEL; LUCAS, CARLOS, 2011). Neste trabalho, os dados utilizados no sistema de inferências serão combinados a partir dos seguintes dados:

- Dados oriundos de sensores fisiológicos conectados ao paciente (frequência cardíaca);
- Resposta em linguagem natural por parte do paciente em relação ao seu nível de ansiedade.

1.3.2.1 Operações com conjuntos *Fuzzy*

Segundo ABAR (2004), as operações com os conjuntos *Fuzzy* são:

- O conjunto *fuzzy* A é um subconjunto de um conjunto *fuzzy* B se o grau de pertinência de cada elemento do conjunto universo U no conjunto A é menor ou igual que seu grau de pertinência no conjunto B, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

- Os conjuntos *fuzzy* A e B são iguais se os graus de pertinência de todos os seus elementos são iguais, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x)$$

- Os conjuntos *fuzzy* A e B são diferentes se o grau de pertinência de algum de seus elementos é diferente, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_A(x) \neq \mu_B(x)$$

- O conjunto *fuzzy* A é um subconjunto próprio do conjunto *fuzzy* B quando A é um sub- conjunto de B e $A \neq B$, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

e para no mínimo um $x \in U$:

$$\mu_A(x) \neq \mu_B(x)$$

- O complemento de um conjunto *fuzzy* A em relação ao conjunto universo U é indicado por A' , ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

- A união de dois conjuntos *fuzzy* A e B é um conjunto $A \cup B$, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- A intersecção de dois conjuntos *fuzzy* A e B é um conjunto $A \cap B$, ou seja, para todo $x \in U$:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

1.3.3 Processamento de linguagem natural - PLN

O Processamento de Linguagem Natural (PLN) é uma das vertentes da Inteligência Artificial. É uma tecnologia que visa a interpretação da linguagem humana, por parte de um sistema computacional, para execução de variadas tarefas. Segundo Russell e Norvig (2016) o primeiro sistema de PNL a resolver uma tarefa real foi provavelmente o sistema BASEBALL (GREEN et al., 1961) que respondia a questões formuladas em inglês sobre jogos de Baseball. Segundo Jurafsky e Martin (2009), o PLN requer vários tipos de conhecimento da linguagem:

- Fonética e Fonologia - conhecimento sobre sons linguísticos;
- Morfologia - conhecimento dos componentes significativos das palavras;
- Sintaxe - conhecimento das relações estruturais entre as palavras;
- Semântica - conhecimento do significado;
- Pragmática - conhecimento da relação de significado com os objetivos e intenções do locutor;
- Discurso - conhecimento sobre unidades linguísticas maiores do que um único enunciado.

O processamento de linguagem natural faz uso de técnicas diversas para interpretação da linguagem humana como: Aprendizado de Máquina (Machine Learning) e algoritmos específicos baseados em regras (SAS, 2021). Atualmente, os sistemas que se utilizam do PLN estão presentes em vários aplicativos e plataformas distintas como:

- Assistentes virtuais - Siri (Apple) e Alexa (Amazon);
- Mecanismos de busca - Google
- Tradutores de idiomas.

1.4 **Sensores fisiológicos**

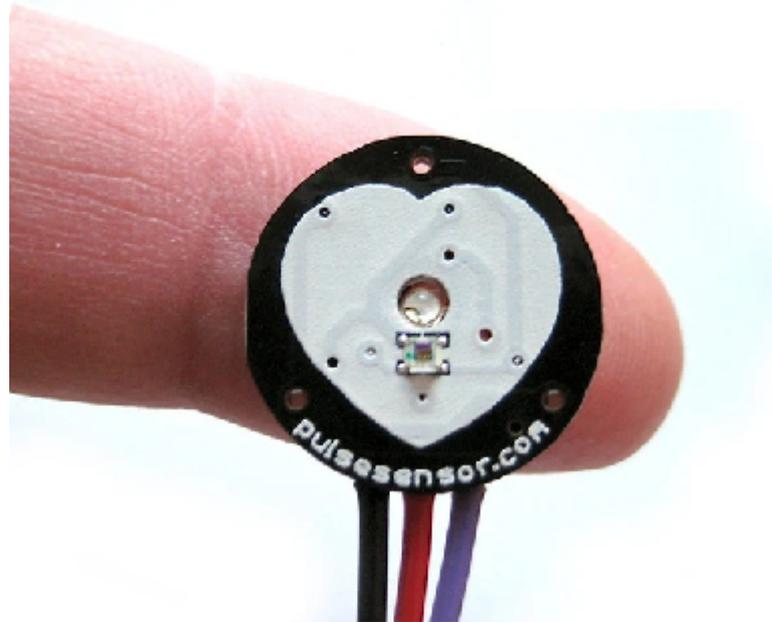
São dispositivos eletrônicos capazes de detectar sinais fisiológicos oriundos de um organismo e transmiti-los para um equipamento eletrônico de processamento de sinal (COUTO, 2021). O sinal, após convertido, pode ser interpretado e processado conforme a necessidade.

Exemplos de sensores fisiológicos:

- Eletroencefalografia - EEG: Sensor para monitoramento das atividades elétricas do cérebro;
- Eletromiografia - EMG: Sensor para monitoramento dos sinais elétricos gerados pelo movimento das fibras musculares;
- Resistência Galvânica da Pele - MRGP: Resistência elétrica da pele relacionada ao suor secretado;
- Eletrocardiograma - ECG: Sensor que mede a atividade elétrica do coração.

Na Figura 8 é apresentada um sensor de frequência cardíaca do tipo PPG (fotople-tismografia).

Figura 8 – Sensor de frequência cardíaca do tipo PPG (PULSE SENSOR, 2022).



1.5 Realidade virtual

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que surgiu no início dos anos 60. Em Sutherland (1964) figuras tridimensionais foram manipuladas em tempo real pela primeira vez utilizando-se um computador. Essa tecnologia é caracterizada pela utilização de ambientes criados artificialmente por meio de imagens e efeitos sonoros, simulando uma situação real ou um lugar, utilizando-se um computador para o processamento e interação com o usuário. Para que seja possível gerar a sensação de imersão no ambiente criado, são utilizados os chamados Equipamentos Imersivos. Em TORI e HOUNSELL (2018), o conceito de Imersão se refere à precisão de um determinado sistema computacional em prover ao usuário a ilusão de uma realidade diferente da que ele se encontra. Existem vários tipos de hardware de RV que permitem a interação entre o ambiente virtual e o usuário (KUGLER, 2021) como exemplos: Luvas eletrônicas, mouses 3D, teclados, *joysticks*, óculos de realidade virtual (Head Mounted Display) e reconhecedores de voz (Processamento de Linguagem Natural).

1.5.1 Equipamentos imersivos

Atualmente, os equipamentos imersivos mais utilizados são os HMD (Head-Mounted Display), que podem ser equipados com tela e processamento próprio (custo mais elevado) ou utilizar adaptadores para uso com aparelhos de celular (mVR – Mobile Virtual Reality) (DIRIN, 2020). Neste último caso, o aparelho celular fica responsável pelo processamento e apresentação dos ambientes virtuais (Figura 9).

Figura 9 – Óculos RV de baixo custo (mRV) utilizado neste trabalho (ÓCULOS VR WARRIOR, 2022)



1.5.2 Motores de *software* para simulação de ambientes virtuais (*Engines*)

Os chamados Motores Gráficos (*Engines*) são as ferramentas de *software* capazes de renderizar gráficos em 2 ou 3 dimensões (2D ou 3D). Estas ferramentas são as responsáveis por toda a inteligência artificial que atua nas diversas interações entre os ambientes virtuais e os usuários (TORI; HOUNSELL, 2018). Elas permitem a criação de ambientes, desde os mais simples aos mais complexos, onde ocorrem todas as interações e os possíveis impactos no ambiente virtual. Segundo TORI e HOUNSELL (2018), as chamadas *Game Engines* têm sido a opção preferida dos desenvolvedores, principalmente devido à facilidade dos ambientes de desenvolvimento e pelo suporte para a maioria dos dispositivos de realidade virtual do mercado.

1.6 Transtornos de ansiedade

Como definido pela American Psychiatric Association (DMS-V, 2014), os transtornos de ansiedade incluem transtornos que compartilham características de medo e ansiedade excessivos e perturbações comportamentais relacionados. Medo é a resposta emocional a ameaça iminente real ou percebida, enquanto ansiedade é a antecipação de ameaça futura. Em Sadock, Sadock e Ruiz (2017), os autores relacionam os sintomas da ansiedade em dois componentes: a percepção das sensações fisiológicas (frequência cardíaca alterada e suor) e a percepção de estar nervoso ou assustado.

Alguns exemplos de manifestações periféricas de ansiedade, segundo Sadock, Sadock e Ruiz (2017) são: Diarreia, vertigem, hiperidrose, palpitações taquicardia, tremores e inquietação. Ainda em Sadock, Sadock e Ruiz (2017), outros exemplos de transtornos de ansiedade são: Transtorno do pânico, agorafobia, fobia específica e transtorno de ansiedade social.

1.6.1 Fobia específica

Segundo Sadock, Sadock e Ruiz (2017), o termo fobia se refere a um medo excessivo de objeto, circunstância ou situação específicos. Ainda segundo os autores, o diagnóstico

da fobia específica requer o desenvolvimento de ansiedade intensa quando da exposição ao objeto temido. Em DMS-V, para o diagnóstico de fobia específica, a resposta deve ser diferente dos medos normais transitórios, que comumente ocorrem na população.

Exemplos de Fobia Específica:

- Animal: Cães, insetos, aranhas...
- Ambiente natural: Altura, tempestades...
- Situacional: Aviões, elevadores, locais fechados...

Segundo Sadock, Sadock e Ruiz (2017), um tratamento comum para os casos de fobia específica é a Terapia de Exposição na qual o paciente é dessensibilizado por meio de uma série de exposições graduais ao estímulo fóbico. Durante o processo, o paciente é ensinado a lidar com a ansiedade utilizando variadas técnicas de relaxamento como o controle da respiração e abordagens cognitivas.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados trabalhos que consideram combinações de tecnologias abordadas nesta proposta. Após a identificação das possíveis tecnologias que poderiam ser utilizadas neste trabalho, foi definida uma questão de pesquisa: Que tecnologias e equipamentos são adotadas em sistemas assistivos?

A partir dessa questão foram definidas as palavras-chave e a combinação entre elas para serem utilizadas nas buscas. Foram aplicadas as combinações em Inglês e Português das seguintes expressões: "tecnologia assistiva"; "sensores fisiológicos"; "Realidade Virtual"; "lógica Fuzzy"; "Arduino"; "sistemas embarcados"; "linguagem natural"; "multiagentes"; "ansiedade"; "transtorno de estresse pós-traumático". Foram consultadas a base da IEEEExplore, Scopus, ACM e o Scholar Google. Procuramos combinar sempre um termo ligado à saúde, com um ou dois termos sobre o uso de sensores, o embarcamento do *software* e/ou uma tecnologia da IA.

Como critérios de inclusão foram considerados artigos de revistas, conferências e capítulos de livros publicados entre os anos de 2016 a 2023, em português ou inglês. Os critérios de exclusão adotados desconsideraram teses e dissertações, além de trabalhos anteriores a 2016. Ressaltamos que a combinação dos termos adotados teve pouco retorno significativo. Por exemplo, na base IEEEExplore quando procuramos por "Arduino" + "anxiety" apareceram 14 trabalhos de conferências e após ler os títulos e abstracts, somente 2 restaram para a leitura completa, dos quais 1 foi descartado. Buscando a combinação de "Arduino" e "PTED", apareceram 2 artigos, dos quais 1 foi descartado. Muitas buscas que combinavam 3 palavras não geravam resultados relevantes, como por exemplo, "Arduino" + "anxiety" + "multiagents". A busca no Scholar Google nos trouxe mais trabalhos publicados em revistas internacionais e nacionais, mas também poucos atendiam aos objetivos desta proposta.

Após a leitura dos artigos, ficamos com 7 artigos, que são brevemente descritos a seguir.

Salgado et al. (2018) apresentam um sistema de tecnologia assistiva para melhoria da qualidade de vida de cadeirantes. O sistema proposto utiliza a Realidade Virtual para simular os trajetos percorridos por uma cadeira de rodas em ambientes específicos. Os usuários controlam o movimento no ambiente virtual por meio de um joystick ou teclado USB. Apesar do sistema proposto pelos autores prever a navegação baseada em dados biométricos, a versão apresentada faz uso apenas de um joystick que tem como objetivo simular os controles de uma cadeira de rodas eletrônica real. O sistema de realidade virtual apresentado faz uso de óculos de última geração aliado a sensores biométricos como ECG (eletrocardiograma) e EDA (atividade eletrodérmica da pele), ou mais comumente chamada de Resistência Galvânica da Pele.

No trabalho de Gradl et al. (2018), o ambiente de realidade virtual apresentado tem como objetivo demonstrar as alterações na frequência cardíaca do participante de acordo com o que é mostrado no cenário virtual. A resposta fisiológica aos estímulos visuais é captada por um sensor ECG que monitora sua frequência cardíaca em tempo real relaci-

onados a diversas cenas apresentadas e projeta imagens do coração em movimento para que os usuários consigam controlar a ansiedade, a partir do controle voluntário da sua frequência cardíaca.

Em Gnacek et al. (2020), é feito um estudo comparativo entre dois tipos de sensores para medição da frequência cardíaca em um ambiente virtual. Os autores utilizaram simultaneamente um sensor tradicional ECG do tipo cinto e um sensor de baixo custo do tipo PPG (fotopletismografia) cuja técnica se baseia na detecção da variação de volume sanguíneo medida entre a luz emitida e a recebida por um LED (diodo emissor de luz) através da pele. No trabalho de Gnacek, foi utilizado os óculos de realidade virtual com sensores acoplados, não havendo interação entre os cenários e as medições realizadas.

Em Muñoz et al. (2016) é apresentada a proposta de um Framework de código aberto desenvolvido para aquisição e integração de sinais fisiológicos medidos por dispositivos vestíveis permitindo a interação entre um motor de jogo Unity3D e os dados obtidos pelos sensores. Neste interessante trabalho, um conjunto completo de API's para tratamento e transmissão de dados é oferecido em seu pacote de distribuição.

No trabalho de Ergan et al. (2019), é descrito um estudo sobre as reações fisiológicas que determinados ambientes arquitetônicos virtuais podem causar aos participantes. Em resumo, é um estudo de como diferentes características ambientais podem influenciar a experiência humana. Como apresentado nos artigos anteriores, o trabalho de Ergan também faz uso de sensores biométricos para coletar medidas fisiológicas como: Atividade cerebral, condutância da pele e atividade cardíaca. Uma câmera capturava as expressões faciais, sensores de Eletroencefalograma e um sensor de movimentos musculares enquanto navegavam em cenas 3D e analisaram os dados capturados para definir os níveis de estresse que as cenas 3D geravam.

Balbin et al. (2017) usaram um *software* de reconhecimento facial, que considera unidades de ação facial (UA) usadas para rastrear movimentos faciais, monitora a frequência cardíaca e a condutância da pele, integrados em uma placa de Arduino de modo a ajudar os profissionais que estejam longe dos pacientes, no diagnóstico de Estresse Pós-traumático, após sofrer a perda de um ente querido. Foram usados vídeos disponíveis no Youtube para evocar estados emocionais. Os vídeos foram apresentados em um notebook.

Para dessensibilizar a fobia de falar em público, Aljabri et al. (2020) criaram um sistema para ajudar pessoas a praticar apresentações ou entrevistas pessoais com menos medo. Foram usados vídeos de 360° com tecnologia de RV. Durante a prática, o sistema analisa a voz e a frequência cardíaca da pessoa para descobrir quaisquer sintomas emocionais e físicos de ansiedade de fala usando sensores de frequência cardíaca conectados no Arduino, aprendizado de máquina e técnicas de reconhecimento de fala. O sistema gera mensagens de autoconfiança para o usuário quando verifica aumento do estresse.

A Tabela 1 apresenta um resumo das características dos artigos selecionados.

Tabela 1 – Comparação de funcionalidades entre os trabalhos citados.

	Salgado (2018)	Gradl (2018)	Gnacek (2020)	Muñoz (2016)	Ergan (2019)	Balbin (2017)	Aljabri (2020)	Oliveira (2012)	Cons (2022)	Jambo (2023)
Arduino ou similares	N	N	N	N	N	S	S	N	N	S
Sensores fisiológicos	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
Sensor cardíaco de baixo custo (PPG)	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S
Correlação entre os dados dos sensores	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S
Lógica Fuzzy embarcada	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
Óculos RV de baixo custo (mRV)	N	N	N	S	S	N	N	N	S	S
Linguagem Natural (PLN)	N	N	N	N	N	N	S	N	N	S
RV interage com os sensores	S	S	N	S	N	N	S	N	S	S
Sistema Multiagente	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S
Processamento paralelo	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S

2.1 Análise dos trabalhos citados

Os trabalhos listados na Tabela 1 exploram diferentes combinações tecnológicas, contemplando sensores, IA, RV, Arduino, dentre outras. Além do sensor de frequência cardíaca, observa-se o uso de variados sensores fisiológicos, como sensores para ECG, sensores para detecção de umidade da pele e atividade eletro-dérmica e aqueles acoplados a vestimentas. A Realidade Virtual é usada em todos os trabalhos, sendo que em alguns casos, não há comunicação entre os ambientes RV e os sensores (ERGAN et al., 2019), (GNACEK et al., 2020), (BALBIN et al., 2017).

Apesar do Aprendizado de Máquina estar em alta, somente um trabalho o utilizou (ALJABRI et al., 2020), sendo que nenhum outro trabalho citou o uso de técnicas de IA, como a Lógica Fuzzy, Multiagentes ou Linguagem Natural.

Logo, a partir das observações realizadas, a resposta à pergunta de pesquisa, que guiou a busca por trabalhos correlatos, ressalta que variadas tecnologias estão sendo utilizadas no desenvolvimento de sistemas assistivos, em que se destacam os sensores fisiológicos e cardíacos, e a tecnologia de Realidade Virtual.

Nesta pesquisa não foram encontrados trabalhos mais recentes combinando as tecnologias mais atuais de IA e RV embarcados. Talvez, as limitações das placas Arduino e o aumento da necessidade de capacidade de processamento tenham diminuído o interesse no desenvolvimento de sistemas mais complexos usando essa tecnologia. As placas mais recentes ainda não foram difundidas, nem muito testadas em contextos da saúde.

Em relação ao uso de placas microcontroladoras, somente dois trabalhos usam esses artefatos e eles são integrados a computadores, que processam as aplicações principais. Aljabri et al. (2020) usam o ESP8266 como processador central do sensor de frequência cardíaca, enquanto Balbin et al. (2017) integram sensores de frequência cardíaca e condutância da pele em um Arduino UNO.

Em termos de avaliações e testes dos sistemas, somente dois trabalhos usaram questi-

onários de avaliação de opinião de usuários. Gradl et al. (2018) usaram o AtrakDiff Questionnaire (MICHAEL BURMESTER, 2023) para avaliar a usabilidade e quão atrativo é o sistema. Já Balbin et al. (2017) usaram o Emotional Stability Test (PERSONALITY PROBE, 2023) para identificar estados emocionais de 10 usuários após o uso do sistema. Nenhum trabalho utilizou escalas de avaliação de usabilidade, satisfação ou adequação do *software* aos seus diferentes objetivos.

A partir dessas percepções e da necessidade superar as limitações dos trabalhos de Cons e Costa (2022) e de Oliveira et al. (2012), foi definida uma proposta que considera a integração de diferentes tecnologias em um sistema embarcado para proporcionar mais controle para o terapeuta nos processos de dessensibilização de fobias. Esta proposta difere dos demais trabalhos citados, principalmente, por oferecer funcionalidades e tecnologias que permitem uma interatividade diferenciada entre o ambiente virtual e o usuário. O uso da tecnologia de Inteligência Artificial embarcada em plataforma de prototipagem de código aberto (Esp32), aliada à utilização de sensores biométricos e óculos de realidade virtual de baixo custo, permitem que o PhobIA 3DS seja adaptável à diversos cenários e com o mínimo de interferência por parte do terapeuta durante as sessões de VRET. O sistema, portanto, será capaz de interpretar os sinais dos sensores e alterar em tempo real a dinâmica de apresentação dos ambientes. Outra característica presente em praticamente todos os trabalhos anteriormente citados é a aquisição de dados para tratamento e análise posterior às sessões, como o realizado por Aljabri et al. (2020), que difere desta proposta que realiza a análise em tempo real. A última coluna da Tabela 1 apresenta as principais características do PhobIA 3DS, que serão detalhadas no próximo capítulo.

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

3.1 Visão geral

O Sistema PhobIA 3DS utiliza um sensor de frequência cardíaca de baixo custo do tipo PPG (fotopletismografia), cuja técnica se baseia na detecção da variação de volume sanguíneo medida entre a luz emitida e a recebida por um LED (diodo emissor de luz) através da pele (ALLEN, 2007). É a mesma tecnologia utilizada nos oxímetros de dedo comumente comercializados. A Figura 8 apresenta o sensor de frequência cardíaca do tipo PPG utilizado neste trabalho e que será o responsável por enviar os dados dos batimentos cardíacos do paciente para o microcontrolador. O protótipo também utiliza um óculos de realidade virtual de baixo custo do tipo mRV que pode ser visto na Figura 9.

Os principais diferenciais desta proposta, com relação a trabalhos similares encontrados na literatura, são:

- Utilização da plataforma de prototipagem eletrônica;
- Utilização de Lógica Fuzzy embarcada para determinação do grau de ansiedade do paciente;
- Implementação de Processamento de Linguagem Natural (PLN) por aprendizado de máquina.

Outros objetivos importantes do trabalho são: Oferecer uma solução facilmente reproduzível assim como a possibilidade de adaptação a diferentes cenários terapêuticos.

O PhobIA 3DS utilizará um Suporte para visualização 3D de baixo custo (Figura 9), que receberá informações em tempo real oriundas de um sensor de frequência cardíaca conectado ao paciente. O Sistema também será capaz de receber comandos de voz oriundos do paciente. A transmissão de dados entre os agentes do sistema PhobIA 3DS se dará por comunicação *Bluetooth*[®] diminuindo ao máximo a utilização de fios durante as sessões.

Os requisitos do sistema foram identificados a partir da literatura da área, assim como baseados nas informações do trabalho de Cons e Costa (2022).

3.1.1 Requisitos Funcionais

Segundo Ávila e Spínola (2007), os requisitos funcionais se referem diretamente às funcionalidades de um *software*. Elas descrevem todas as funções que um *software* deve executar. Os requisitos funcionais do sistema proposto são:

- Exibir ao paciente um ambiente virtual 3D para tratamento de fobias;
- Receber resposta de voz do paciente;
- Monitorar em tempo real a pulsação cardíaca do paciente;

- Calcular o nível de ansiedade do paciente;
- Apresentar ao profissional habilitado o nível de ansiedade do paciente em tempo real;
- Modificar as cenas do ambiente virtual 3D de acordo com o nível de ansiedade calculado.

3.1.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais estão relacionados a condições ou qualidades específicas que um *software* deve possuir (ÁVILA; SPÍNOLA, 2007). No caso do sistema proposto, os requisitos não funcionais são:

- Realizar todas as transferências de informações, entre o sistema e os atores, por meio de tecnologia *Bluetooth*[®];
- Ser portátil;
- Ter peso reduzido;
- Ter custo reduzido;
- Ser confortável.

3.1.3 Cenários de uso

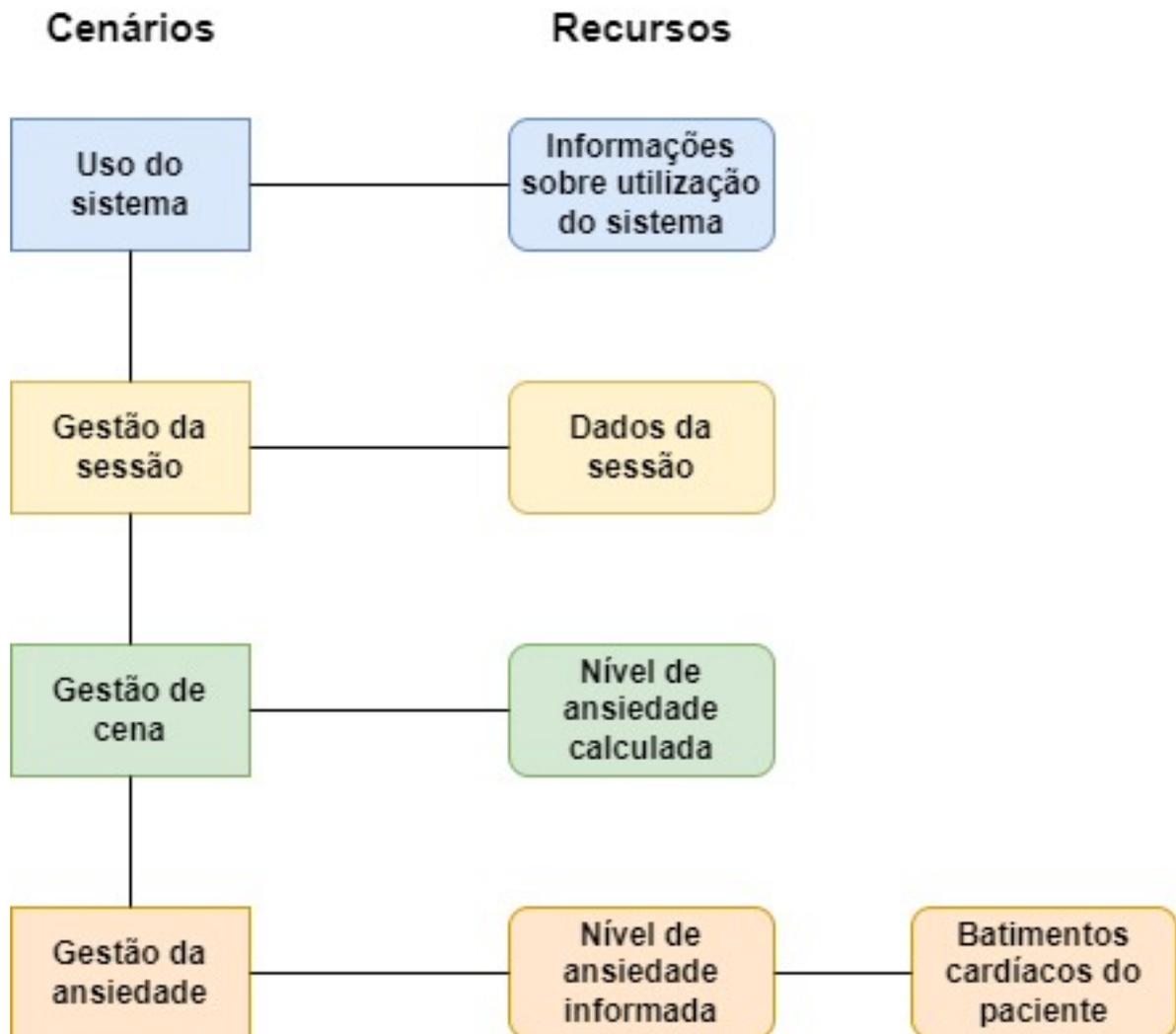
Segundo Breitman e Leite (2000), ultimamente houve um crescente uso da criação de cenários, por parte de engenheiros de *software*, para descrever um sistema. Esta metodologia favorece o entendimento e a validação dos requisitos do sistema em questão. Os cenários apresentam uma descrição detalhada de um caso de uso, onde os agentes envolvidos buscam atingir seus objetivos utilizando seus recursos dentro de um determinado contexto (CONS; COSTA, 2022).

Em Breitman e Leite (2000), os cenários possuem a seguinte estrutura:

- **Título:** Breve descrição do cenário;
- **Objetivos:** Descrição do propósito do cenário;
- **Contextos:** Condições ou necessidades físicas para que o cenário seja executado;
- **Atores:** Todos os agentes ou pessoas que executam alguma ação no cenário em questão;
- **Recursos:** São todos os itens necessários para que os atores envolvidos possam atingir seus objetivos;
- **Episódios:** Descrição detalhada da sequência dos acontecimentos dentro de um cenário, podendo também possuir referências a outro cenário.

A Figura 10 apresenta uma visão geral dos cenários e dos recursos do sistema PhobIA 3DS (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2005).

Figura 10 – Visão geral dos cenários e dos recursos do sistema.



3.1.3.1 Cenário 1: Uso do sistema

A tabela 2 mostra as características do cenário Uso do Sistema.

Tabela 2 – Uso do sistema 3D proposto

Título	Uso do sistema 3D proposto
Objetivos	Descrever o uso do sistema
Contexto	- Uso de óculos de realidade virtual (com suporte a aparelhos de celular) - Uso de aparelho celular com sistema operacional <i>Android</i> .
Atores	Paciente e Profissional habilitado
Recursos	Informações sobre utilização do sistema
Episódios	Paciente: - Informa os dados solicitados Profissional: - Acompanha o andamento da sessão através do aparelho celular

As funções relacionadas a cada um dos atores neste cenário são:

- **Paciente:** É o usuário dos óculos de realidade virtual que recebe o tratamento acompanhado pelo profissional habilitado.
- **Profissional habilitado:** É o profissional da área de saúde responsável por acompanhar o paciente durante as sessões de tratamento. Este acompanhamento inclui o monitoramento da frequência cardíaca do paciente e seu nível de ansiedade, assim como dar o devido suporte emocional.

Os recursos necessários para o uso do sistema são:

- O aparelho celular acoplado ao óculos de realidade virtual do paciente deve possuir sistema operacional *Android*;
- O aparelho celular acoplado ao óculos deve possuir, previamente instalada, a versão do sistema para o *Módulo Paciente*, além de ter a tecnologia *Bluetooth* disponível e ativada;
- O sensor de frequência cardíaca deverá estar preso ao lóbulo da orelha do paciente;
- O aparelho celular utilizado pelo profissional deve possuir, previamente instalada, a versão do sistema para o *Módulo Terapeuta*, além de ter a tecnologia *Bluetooth* disponível e ativada.

3.1.3.2 Cenário 2: Gestão da sessão

A tabela 3 descreve o cenário de gestão da sessão do sistema.

Tabela 3 – Gestão da sessão

Título	Gestão da sessão
Objetivos	Descrever a gestão da sessão
Contexto	- Uso de óculos de realidade virtual (com suporte a aparelhos de celular) - Uso de aparelho celular com sistema operacional <i>Android</i> .
Atores	Agente controlador
Recursos	Informações sobre a sessão
Episódios	- Monitora as interações do paciente com o sistema - Recebe os sinais de frequência cardíaca do paciente

Este cenário tem como único agente o Controlador, que é o responsável por receber e manter as informações referentes à sessão atual.

3.1.3.3 Cenário 3: Gestão da cena

A tabela 4 apresenta o cenário de gestão da cena do sistema.

Tabela 4 – Gestão da cena

Título	Gestão da cena
Objetivos	Descrever a gestão da cena
Contexto	- Uso de óculos de realidade virtual (com suporte a aparelhos de celular) - Uso de aparelho celular com sistema operacional <i>Android</i> .
Atores	Agente ambientador e agente controlador
Recursos	Agente controlador: - Nível de ansiedade informado pelo paciente - Frequência cardíaca do paciente Agente ambientador: - Nível de ansiedade informado pelo paciente
Episódios	Agente controlador: - Envia solicitações de alteração de cena ao agente ambientador Agente ambientador: - Gera a visualização 3D - Modifica a cena 3D dependendo do nível de ansiedade calculado e informado pelo agente controlador

Neste cenário, o agente ambientador, responsável pelas alterações de cena, gera a visualização das cenas 3D na tela do aparelho com o *Módulo Paciente* instalado. Qualquer alteração de cena executada pelo agente ambientador deve ser previamente solicitada pelo agente controlador.

3.1.3.4 Cenário 4: Gestão da ansiedade

Na tabela 5, é apresentado o cenário de gestão da ansiedade.

Tabela 5 – Gestão da ansiedade

Título	Gestão da ansiedade
Objetivos	Descrever a gestão da ansiedade
Contexto	- Uso de óculos de realidade virtual (com suporte a aparelhos de celular) - Uso de aparelho celular com sistema operacional <i>Android</i> . - Sensor de frequência cardíaca
Atores	Agente analisador e agente controlador
Recursos	Agente controlador: - Estado atual de ansiedade do paciente - Dados do sensor de frequência cardíaca do paciente Agente analisador - Estado atual de ansiedade do paciente - Dados do sensor de frequência cardíaca do paciente
Episódios	Agente controlador: - Recebe o nível de ansiedade informado pelo paciente - Recebe os sinais do sensor cardíaco do paciente, em tempo real - Calcula a pulsação cardíaca do paciente (BPM) - Realiza o cálculo fuzzy utilizando os dados de entrada de ansiedade e de pulsação cardíaca do paciente - Envia os dados de entrada e o resultado do cálculo fuzzy ao agente analisador Agente analisador: - Apresenta em tela, para análise do terapeuta, a ansiedade informada, a pulsação cardíaca e a ansiedade calculada pelo agente controlador. Tudo em tempo real.

Neste cenário, dois recursos são necessários para a gestão da ansiedade:

- O estado atual de ansiedade informado pelo paciente;
- A pulsação cardíaca em tempo real do paciente.

A execução de todos os cálculos da lógica fuzzy, referentes ao nível de ansiedade atual do paciente, é feita neste cenário pelo agente controlador.

3.2 Modelagem do sistema

O PhobIA 3DS foi modelado pelo framework i^* (FRANCH et al., 2016). Esta estrutura, orientada a agentes e baseada em objetivos, é uma das mais utilizadas (YU, 2011). A modelagem feita pelo i^* gera o Diagrama de Dependência Estratégica (SD). Este diagrama identifica todos os atores do sistema, as tarefas e os recursos necessários para todo o processamento (CONS; COSTA, 2022). As relações de dependência entre os atores também são definidas pelo diagrama através dos relacionamentos entre os usuários e os agentes (Figura 11).

A implementação de um sistema multiagente neste trabalho é bastante útil, visto que cada agente é responsável por uma ou mais tarefas de forma modularizada.

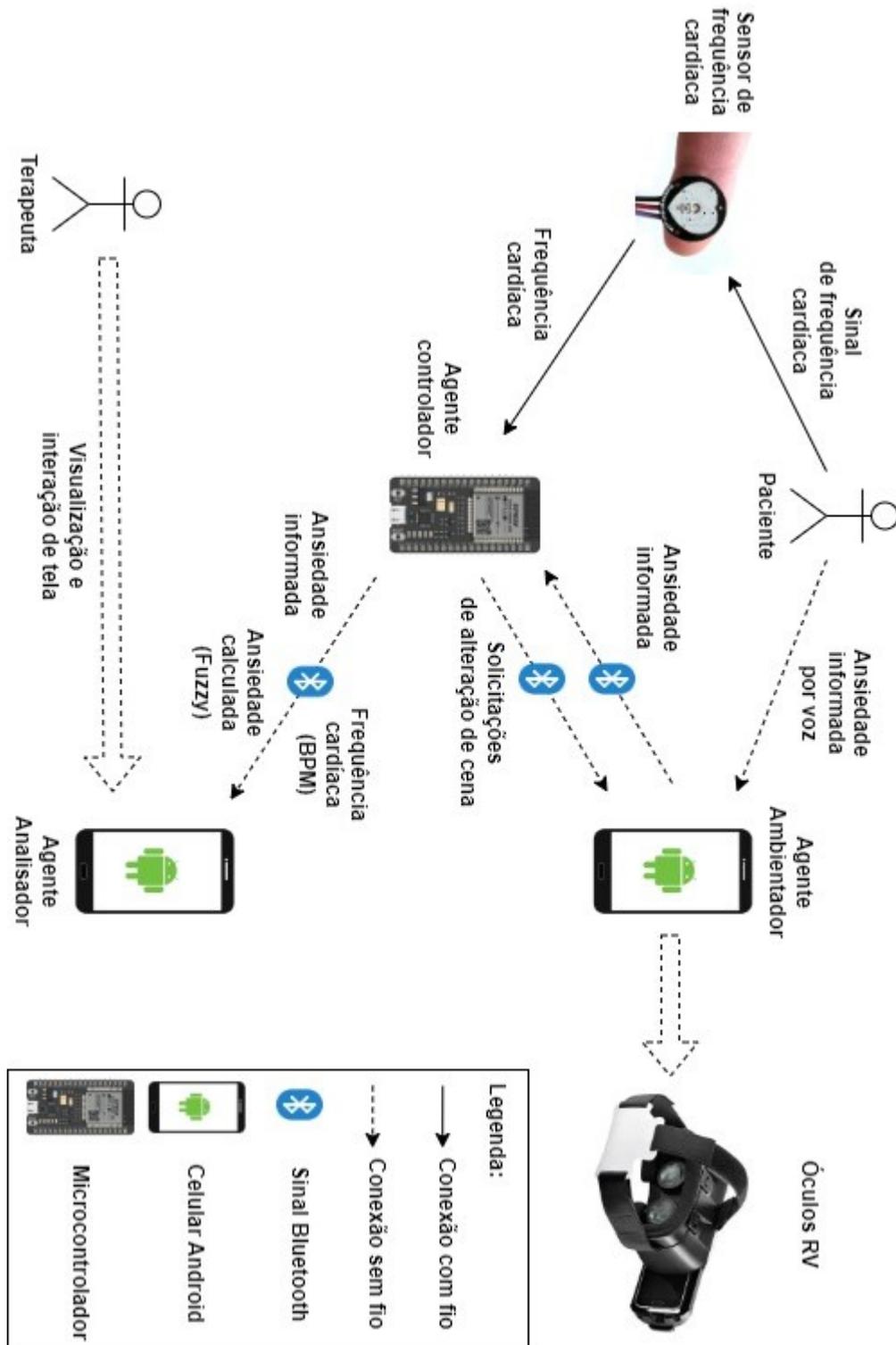
O agente controlador recebe as informações ditadas por voz pelo paciente em relação ao seu nível de ansiedade, assim como sua frequência cardíaca é captada pelo sensor. De posse dessas informações, o agente controlador realiza os cálculos de lógica difusa e determina o nível de ansiedade calculada do paciente. As metodologias envolvidas tanto para obtenção de respostas do paciente quanto para os cálculos utilizados serão abordadas posteriormente nesse trabalho.

O agente ambientador é o responsável por gerar e manter toda a apresentação do ambiente 3D ao paciente. Este agente está instalado em um aparelho celular *Android* acoplado ao óculos de realidade virtual. O agente ambientador altera as cenas apresentadas ao paciente de acordo com o que é solicitado pelo agente controlador. Uma importante funcionalidade presente no agente ambientador é a possibilidade de espelhamento de tela. O espelhamento permite que as cenas 3D visualizadas pelo paciente possam também ser visualizadas pelo terapeuta, seja em um aparelho de TV ou em qualquer dispositivo de tela compatível com essa tecnologia.

O agente analisador, assim como o ambientador, está instalado em um aparelho celular *Android* e é o responsável por apresentar ao terapeuta todas as informações referentes à sessão como: Ansiedade informada pelo paciente, sua frequência cardíaca e o nível de ansiedade calculada pelo agente controlador. O terapeuta também pode interagir com o sistema, caso necessário, usando a tela do aparelho. Uma outra característica importante presente neste sistema multiagente é a possibilidade de serem adicionados mais agentes analisadores. Essa capacidade é possível pelo fato do módulo *Bluetooth* BLE permitir a conexão de mais de um dispositivo ao mesmo tempo. Ao ser adicionado um novo agente analisador ele passa a fazer parte do sistema e pode interagir da mesma forma que o agente analisador inicial. Essa característica permite que mais de um profissional acompanhe o andamento da sessão.

Na Figura 12 é apresentado o diagrama de comunicação e interação dos agentes do sistema:

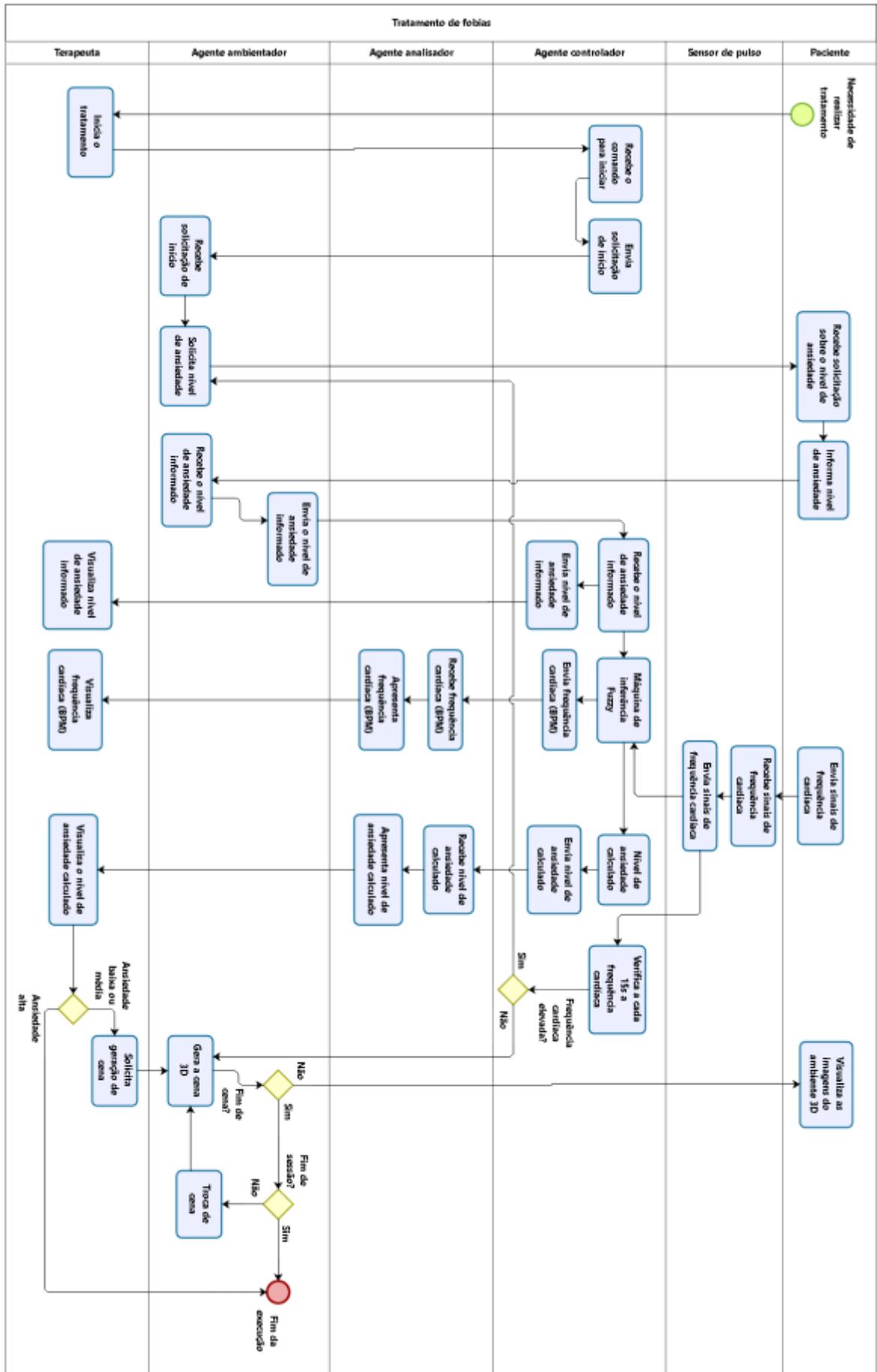
Figura 12 – Diagrama de comunicação e interação dos agentes.



3.2.1 Roteiro de execução

Para efeito de execução integrada, foi elaborado um roteiro padrão para o sistema PhobIA 3DS. Na Figura 13 é apresentado o diagrama de atividades dos agentes do sistema:

Figura 13 – Diagrama de atividades dos agentes do sistema PhobIA 3DS (Bizagi Modeler).



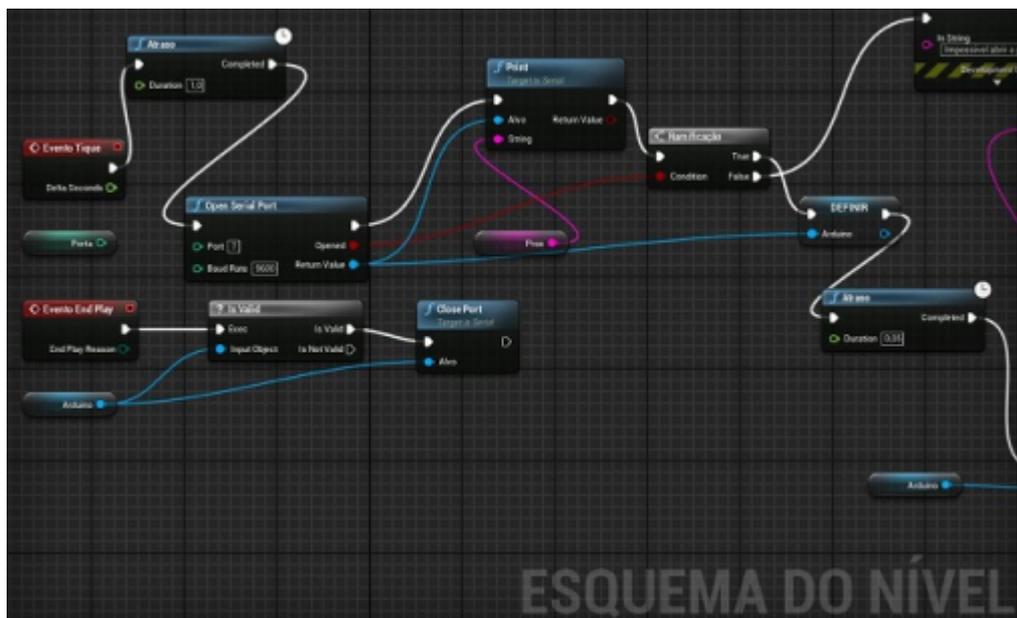
Este roteiro de atividades do sistema será seguido nos testes que serão abordados no Capítulo 4 desta Dissertação.

3.3 Prototipagem de *hardware*

3.3.1 Primeiro protótipo

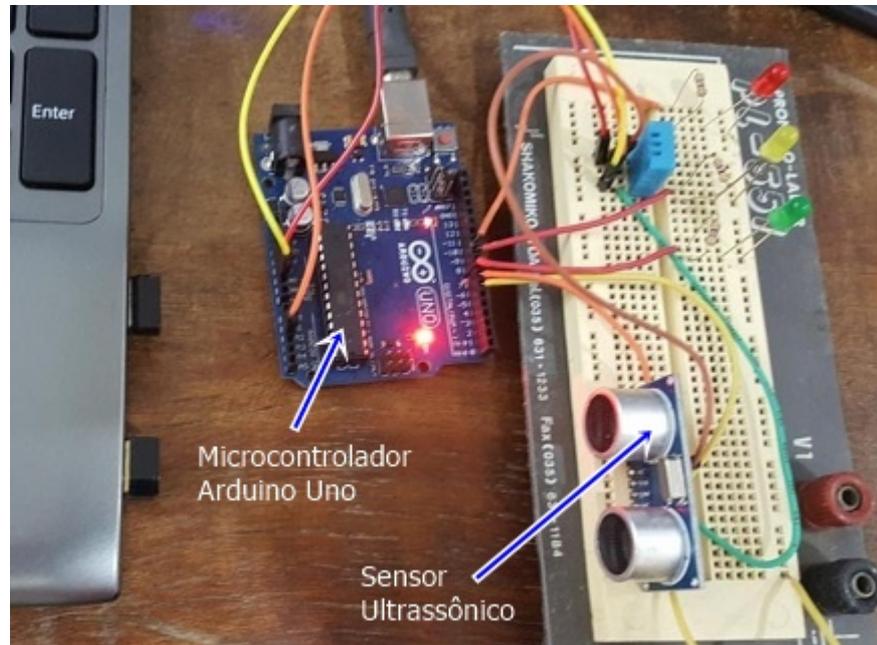
Neste trabalho, foi desenvolvido inicialmente um protótipo com a ferramenta *Unreal Engine 4* (UNREAL ENGINE, 2022) para testes de comunicação e integração entre o *software* (motor gráfico) e o *hardware* proposto. Este protótipo permitiu que fosse confirmada a viabilidade técnica desta proposta de trabalho. Na Figura 14, pode ser observada a parte da programação utilizada no protótipo com a ferramenta *Unreal Engine 4*, onde a placa Arduino recebe dados de um sensor Figura 8 e os transmite uma saída gráfica.

Figura 14 – Tela de programação de eventos (Blueprint) do *Unreal Engine 4* utilizada no protótipo.



Na figura 15 é apresentado o primeiro protótipo utilizando uma protoboard (placa de prototipagem) para para testes de conexão e envio de dados para o computador via porta serial. Neste protótipo utilizou-se um sensor de proximidade ultrassônico (no lugar do sensor cardíaco) somente para testes de interação entre o Arduino UNO, o sensor e o ambiente virtual do *Unreal Engine 4*.

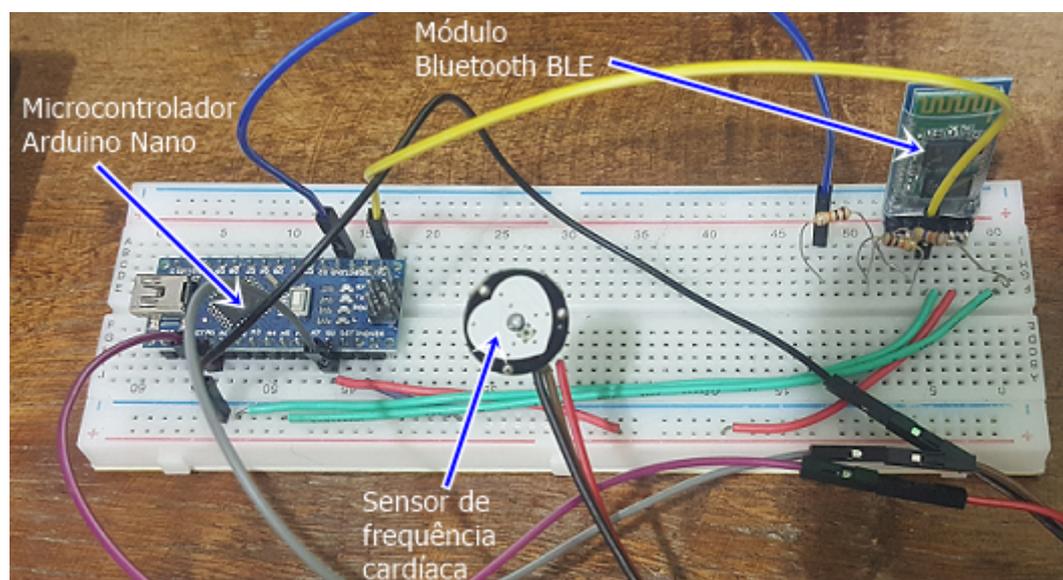
Figura 15 – Foto do primeiro protótipo desenvolvido para testes de conexão e transmissão de dados entre o Arduino UNO, o sensor e o *Unreal Engine 4* instalado no computador.



3.3.2 Segundo protótipo

Na figura 16, é apresentado o segundo protótipo onde foi substituído o Arduino UNO pelo Arduino Nano. Esta alteração possibilitou uma redução significativa do tamanho do protótipo. Este protótipo também contou com a adição de um módulo de comunicação *Bluetooth* para conexão sem fio. No segundo protótipo foi utilizado pela primeira vez, neste trabalho, um sensor de frequência cardíaca do tipo PPG.

Figura 16 – Foto do segundo protótipo desenvolvido para teste de conexão *Bluetooth* e envio de dados do sensor PPG para o computador.



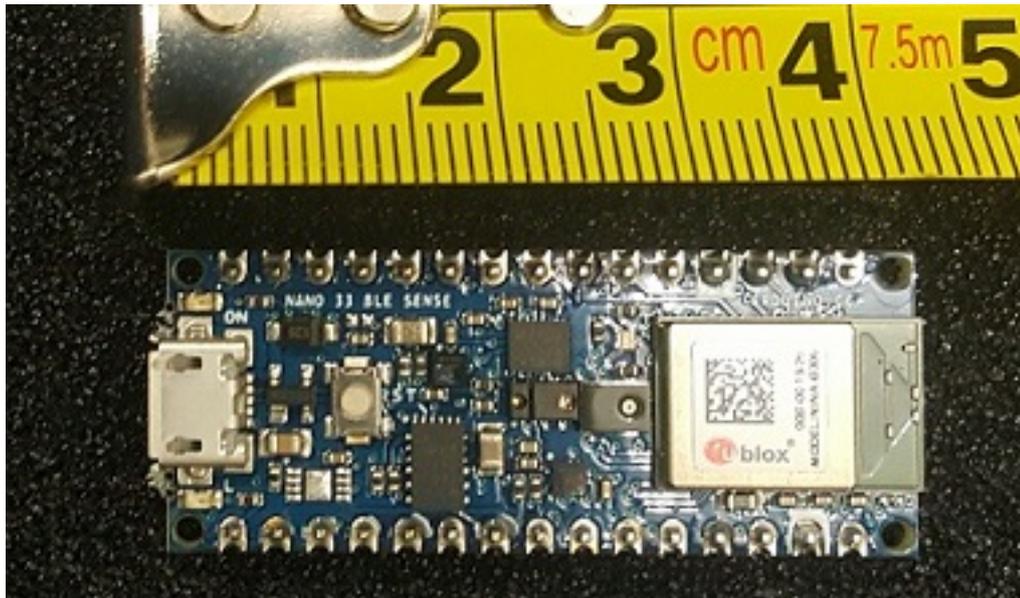
A utilização do motor gráfico *Unreal Engine* se mostrou viável durante os testes re-

alizados no primeiro protótipo com conexão serial, porém, devido à adição do módulo *Bluetooth*, o segundo protótipo passou a necessitar de um *plugin* para conexão sem fio. Verificou-se, à época da construção, que todos os *plugins* disponíveis apresentavam um elevado custo de aquisição, fato que iria de encontro à proposta inicial deste trabalho. Uma outra questão observada em relação ao uso de um motor gráfico foi a necessidade de se criar um novo ambiente 3D para cada tipo de Fobia específica. Diante do observado, optou-se pela construção de um *player* de vídeo 3D, onde se tornaria possível o carregamento de qualquer vídeo 3D pré-existente à escolha do operador.

3.3.3 Terceiro protótipo

O terceiro protótipo utilizou uma placa Arduino Nano de última geração modelo Nano 33 BLE Sense, que possui um módulo *Bluetooth* 5.0 LE já embutido e de baixo consumo de energia. Este modelo, além de possuir um microfone digital embutido, também é equipado com um processador modelo ARM Cortex M4F de 64 MHZ que permite a execução de modelos de inteligência artificial embarcada e aprendizado de máquina (ARDUINO STORE, 2021). A figura 17 apresenta a placa Arduino Nano 33 BLE Sense adquirida para a construção deste terceiro protótipo.

Figura 17 – Placa Arduino Nano 33 BLE Sense.



Durante a fase de testes do terceiro protótipo, foi realizada a Defesa da Qualificação desta Dissertação, em que foi sugerida a utilização do microcontrolador Esp32 em substituição ao Arduino Nano 33. Na ocasião, foi ressaltado que este microcontrolador possui um poder de processamento muito maior em relação ao Arduino e que vários projetos acadêmicos já o utilizavam. De fato, constatou-se que o microcontrolador sugerido seria a melhor opção para a construção do protótipo final como será demonstrado neste trabalho.

3.3.4 Quarto protótipo

Na construção do protótipo final, já utilizando o microcontrolador Esp32, foi utilizado um novo sensor de frequência cardíaca (Figura 18) equipado com um clipe para fixação do sensor no lóbulo da orelha do paciente. Os sensores de frequência cardíaca do tipo

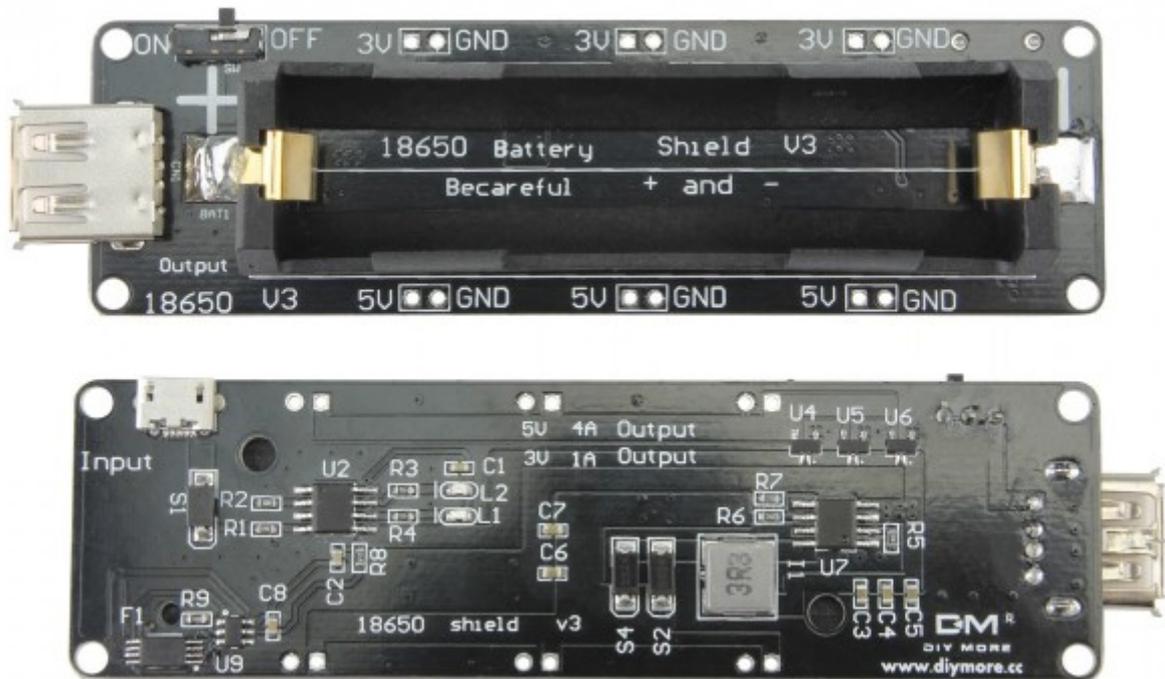
PPG podem ser utilizados nos pulsos, nos dedos ou nos lóbulos da orelha (CORREIA et al., 2020). Segundo Blok et al. (2021), este tipo de sensor possui uma acurácia de 94,6% (em 100ms) quando comparado ao exame de eletrocardiograma tradicional (ECG).

Figura 18 – Sensor de Frequência cardíaca (SICHIRAY TECH., 2022).



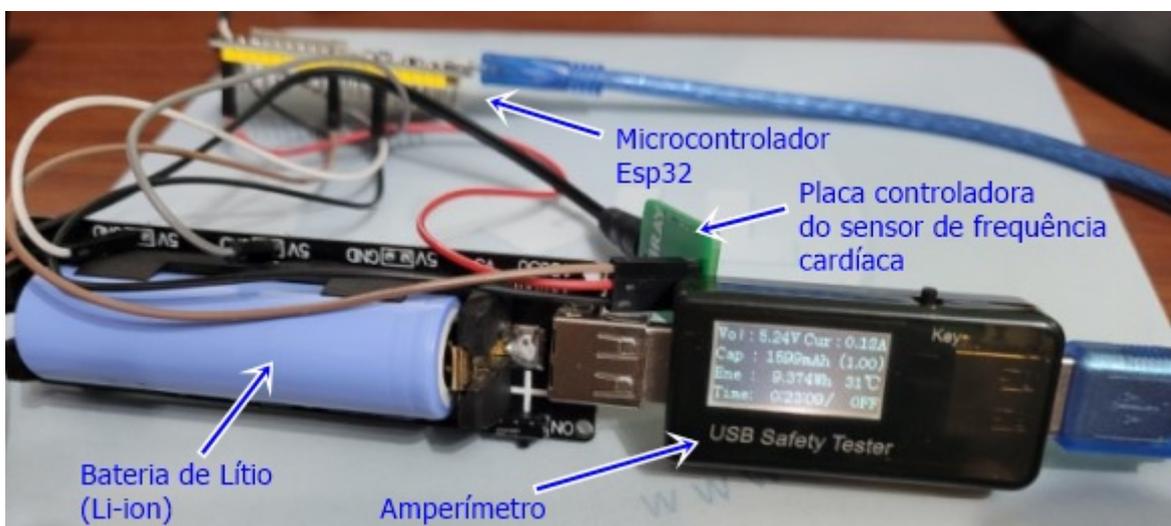
Este último protótipo contou também com uma fonte de energia independente composta por uma bateria de lítio recarregável da marca Samsung modelo 18650 (Li-ion) de 2200mah (miliampere-hora) e de um módulo carregador Shield V3 (Figura 19). Este módulo é o responsável por alimentar o microcontrolador com uma tensão de 5V, além de ser capaz de recarregar a bateria por meio de uma entrada micro USB própria.

Figura 19 – Módulo Shield V3 (USAINFO, 2022)



Para que fosse avaliada a autonomia de bateria do sistema, foi medida com um amperímetro a corrente de descarga máxima demandada por todo o sistema em funcionamento (microcontrolador + sensor de frequência cardíaca). A figura 20 demonstra como foi feita a medição da tensão:

Figura 20 – Medição de corrente de descarga do Sistema com um amperímetro.



Feita a medição, foi calculada a autonomia em horas (h) de uso do Sistema proposto:

- Valor medido de corrente (miliampere): 120mA.
- Capacidade nominal da bateria de lítio (miliampere/hora): 2200mAh.

$$Autonomia(h) = \frac{\text{Capacidade da bateria (mAh)}}{\text{Corrente de descarga do Sistema (mA)}}$$

Logo:

$$Autonomia(h) = \frac{2200}{120} \approx 18,33h$$

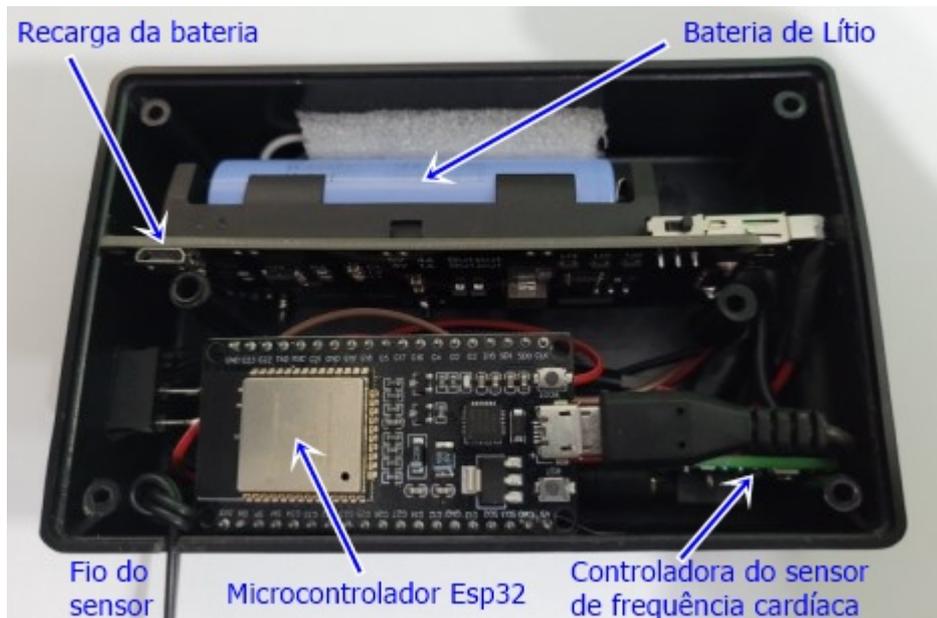
O cálculo resultou em uma autonomia de pouco mais de 18 horas de uso ininterrupto do sistema PhobIA 3DS.

Nas figuras 21 e 22 são apresentadas respectivamente as visões externa e interna da caixa de circuitos.

Figura 21 – Visão externa da caixa de circuitos.



Figura 22 – Visão interna da caixa de circuitos.



3.4 Prototipagem de *software*

3.4.1 Software embarcado

O *software* embarcado, que é executado no microcontrolador Esp32, é o responsável pelas seguintes tarefas:

- Receber os sinais do sensor de frequência cardíaca conectado ao paciente;
- Receber do agente Ambientador, via comunicação *Bluetooth*, o nível de ansiedade informada pelo paciente;
- Executar, a partir dos dados recebidos, os cálculos da lógica difusa;
- Enviar, via comunicação *Bluetooth*, o resultado dos cálculos da lógica difusa (ansiedade calculada) para o Módulo Paciente.

Uma das grandes vantagens na utilização do microcontrolador Esp32 é a possibilidade de utilização de programação paralela, devido a presença de dois núcleos de processamento no *hardware*: Núcleo 0 e Núcleo 1. O tipo de processamento paralelo utilizado pelo Esp32 é o de memória compartilhada *Shared Multiprocessing* (SMP), ou seja, os dois núcleos são idênticos e utilizam uma mesma área de memória principal (Cap. I).

O processamento das tarefas foi dividido entre os dois núcleos da seguinte forma:

- **Núcleo 0 (Tarefa 0):**
 - Recebe o sinal analógico do sensor de frequência cardíaca conectado ao paciente e converte em BPM;
 - Armazena em uma variável a pulsação atual do paciente em BPM;
 - Envia o valor da variável resultante (pulsação atual) para o Núcleo 1.

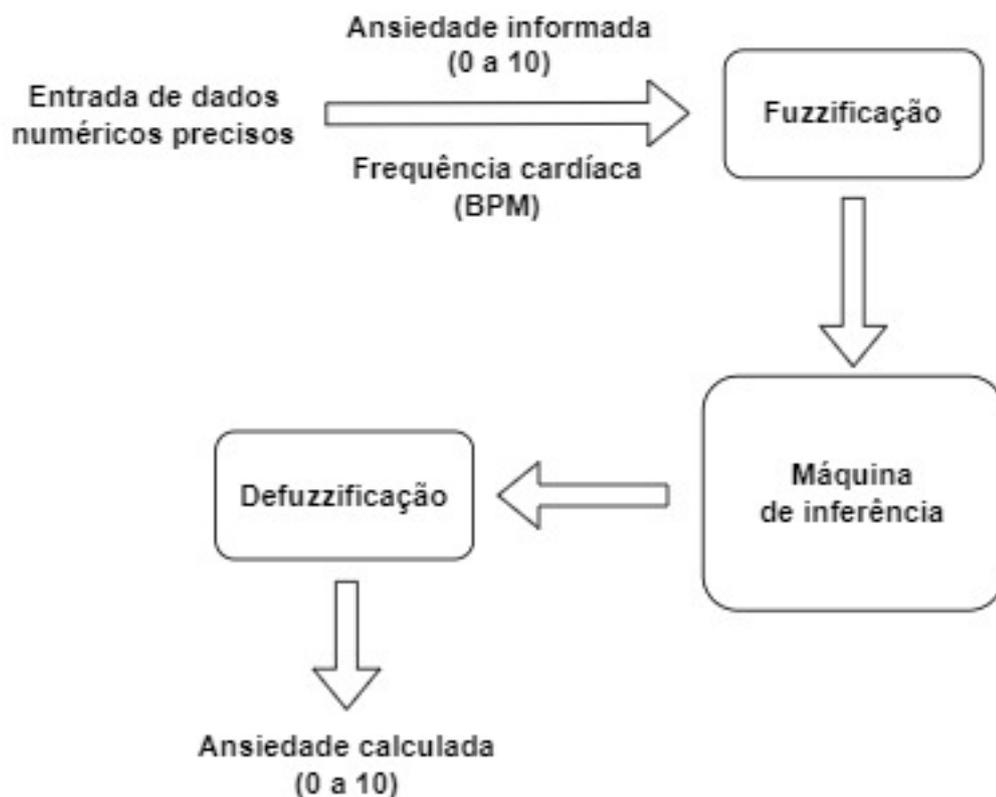
- **Núcleo 1 (Tarefa 1):**

- Recebe a variável enviada pelo Núcleo 0;
- Recebe do Agente Ambientador e armazena em uma variável o valor do Nível de ansiedade informado pelo paciente;
- Executa todas as etapas dos cálculos difusos: Fuzzificação, Máquina de inferência e defuzzificação (Figura 23);
- Envia para o Agente Analisador o resultado dos cálculos difusos (Ansiedade Calculada);
- Envia para o Agente Analisador a pulsação atual do paciente em BPM.

A pulsação cardíaca do paciente em BPM e o valor da Ansiedade informada pelo paciente (0 a 10) são as duas variáveis numéricas de entrada do sistema difuso. Após o processamento da lógica difusa, a saída do sistema é a variável numérica Ansiedade calculada.

A figura 23 apresenta o diagrama característico das etapas de um sistema difuso aplicado ao sistema proposto:

Figura 23 – Etapas do sistema difuso.



A figura 24 apresenta uma parte do código em C++ que define os parâmetros de configuração e parte das rotinas difusas a serem executadas pela Tarefa 1 do Núcleo 1:

Figura 24 – Parâmetros da lógica difusa para a Tarefa 1 (Núcleo 1).

```

void coreTaskOne( void * pvParameters ){
    while(true){

        pPulsoCharacteristic->setValue(String(BPM).c_str());

        int input1 = BPM;

        std::string VozValue = pVozCharacteristic->getValue();
        std::string AnsiedadeValue = pAnsiedadeCharacteristic->getValue();
        std::string PulsoValue = pPulsoCharacteristic->getValue();

        int input2 = atoi(VozValue.c_str());

        fuzzy->setInput(1, input1);
        fuzzy->setInput(2, input2);

        fuzzy->fuzzify();

        float output1 = fuzzy->defuzzify(1);
    }
}

```

Uma grande vantagem na utilização de processamento paralelo se deve ao fato do cálculo dos batimentos cardíacos por minuto (BPM) ser realizado a cada 15 segundos, ou seja, a cada 15 segundos de medição é somado o total de batimentos nesse período. Esse valor obtido é então multiplicado por 4 para que seja calculado o número total de batimentos em um minuto (MEDPREV, 2022). Para que o restante das tarefas do sistema não tenham que aguardar 15 segundos para serem executadas, esta tarefa é executada exclusivamente pelo Núcleo 0, sendo que o sistema utilizará a medida em BPM disponível até que a nova seja atualizada. Este modelo multiprocessado também se mostra bastante útil no caso de serem adicionados futuramente outros tipos de sensores ao sistema proposto.

O *software* embarcado, escrito em linguagem C++, utiliza a biblioteca eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library) desenvolvida pelo Robotic Research Group (RRG) na Universidade Estadual do Piauí (UESPI-Teresina). Segundo ALVES (2012) a biblioteca eFLL é uma opção versátil, leve e eficiente para aplicação da Lógica Fuzzy em sistemas embarcados, além de poder ser utilizada em qualquer microcontrolador. A biblioteca não apresenta limitações explícitas em relação à quantidade de conjuntos Fuzzy, regras de inferência, entradas ou saídas (ALVES, 2012).

A biblioteca utiliza o modelo MAX-MIN e Mínimo de Mamdani (MAMDANI, 1977) para inferência e composição e Centro de Área para a desfuzzyficação, no universo contínuo.

A figura 25 apresenta parte do código em C++ embarcado onde são definidos os parâmetros de comunicação *Bluetooth* e os conjuntos trapezoidais e triangulares:

Figura 25 – Parte do código em C++ embarcado.

```

#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEServer.h>
#include <Fuzzy.h>

#define SERVICE_UUID          "90a0217c-8533-4933-9171-49e39c037049"
#define PULSO_CHARACTERISTIC_UUID "13ff7ff0-cad7-4dd6-95a9-e756da2f1239"
#define PULSO_STATUS_CHARACTERISTIC_UUID "899f54af-ce14-4f49-bfd3-6c66c445df16"
#define VOZ_CHARACTERISTIC_UUID   "19B10001-E8F2-537E-4F6C-D104768A1214"
#define ANSIEDADE_CHARACTERISTIC_UUID "86c86048-c004-4e8f-9d0b-e7e642044359"
#define INFORMADA_STATUS_CHARACTERISTIC_UUID "3fdcc95d-6f52-4e5e-8876-e57b2a9d114a"
#define PARADA_CHARACTERISTIC_UUID "e509d803-0612-4731-bf53-404f28c0aab2"

class FuzzyServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {
    void onConnect(BLEServer* pServer) {
        pServer->startAdvertising(); // restart advertising
    };

    void onDisconnect(BLEServer* pServer) {
        pServer->startAdvertising(); // restart advertising
    }
};

BLECharacteristic *pPulsoCharacteristic;
BLECharacteristic *pPulsoStatusCharacteristic;
BLECharacteristic *pVozCharacteristic;
BLECharacteristic *pAnsiedadeCharacteristic;
BLECharacteristic *pInformadaStatusCharacteristic;
BLECharacteristic *pParadaCharacteristic;

Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

FuzzySet *abaixo = new FuzzySet(0,0,60,75);
FuzzySet *dentro = new FuzzySet(60,75,75,90);
FuzzySet *limiarsuperior = new FuzzySet(75,90,90,105);
FuzzySet *acima = new FuzzySet(90,105,150,150);

FuzzySet *baixa = new FuzzySet(0, 0, 3, 5);
FuzzySet *media = new FuzzySet(3, 5, 5, 7);
FuzzySet *alta = new FuzzySet(5, 7, 10, 10);

FuzzySet *baixafinal = new FuzzySet(0, 0, 3, 5);
FuzzySet *mediafinal = new FuzzySet(3, 5, 5, 7);
FuzzySet *altafinal = new FuzzySet(5, 7, 10, 10);

```

Este código tem como principal função o controle da ansiedade em pacientes por meio de um controlador nebuloso. O sistema é baseado em duas variáveis de entrada e uma variável de saída. As variáveis de entrada utilizadas no sistema são a Ansiedade informada pelo paciente e sua Frequência cardíaca medida por um sensor enquanto a variável de saída é a Ansiedade calculada. O nível de ansiedade informado pelo paciente utiliza a escala SUDS (Subjective Units of Distress Scale) (WOLPE, 1990) que é caracterizada por

uma escala, geralmente de 0 a 10, tendo o valor zero como representativo de ausência de angústia ou ansiedade e o valor 10 como nível máximo. Segundo (WOLPE, 1990), a escala SUDS representa uma forma simples e rápida de promover a autoavaliação de um paciente quando exposto a possíveis situações de desconforto em sessões terapêuticas. Esta metodologia também permite avaliar a eficácia do tratamento pois é utilizada em diferentes etapas do processo (MILOSEVIC; MCCABE, 2015). A tabela 6 apresenta os vários níveis da escala SUDS (SALKEVICIUS; MISKINYTE; NAVICKAS, 2019):

Tabela 6 – Escala SUDS

Medição	Avaliação
Maior ansiedade/angústia já sentida	10
Extremamente ansioso/angustiado	9
Muito ansioso/angustiado; não consegue se concentrar	8
Muito ansioso/angustiado; interferência com o funcionamento	7
Ansiedade ou sofrimento moderado a forte	6
Ansiedade ou angústia moderada, mas pode continuar a funcionar	5
Ansiedade ou angústia leve a moderada	4
Ansiedade ou angústia leve; nenhuma interferência com o funcionamento	3
Ansiedade ou angústia mínima	2
Alerta e acordado	1
Totalmente relaxado	0

Para cada uma dessas variáveis, são criadas funções de pertinência, que representam a associação entre cada valor possível da variável e uma função que descreve a pertinência desse valor. As funções de pertinência utilizadas nos cálculos difusos foram todas baseadas no trabalho de Oliveira et al. (2012).

As funções de pertinência para a variável Ansiedade informada são geradas automaticamente pelo programa a partir de três funções: Baixa, Média e Alta. Cada uma dessas funções é definida utilizando a função de pertinência trapezoidal ou triangular. Da mesma forma, as funções de pertinência para a variável Frequência cardíaca são criadas utilizando as funções Abaixo, Dentro, Limiar Superior e Acima.

As figuras 26 e 27 mostram respectivamente as funções de pertinência para a variável Ansiedade e para a variável Frequência cardíaca:

Figura 26 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Informada.

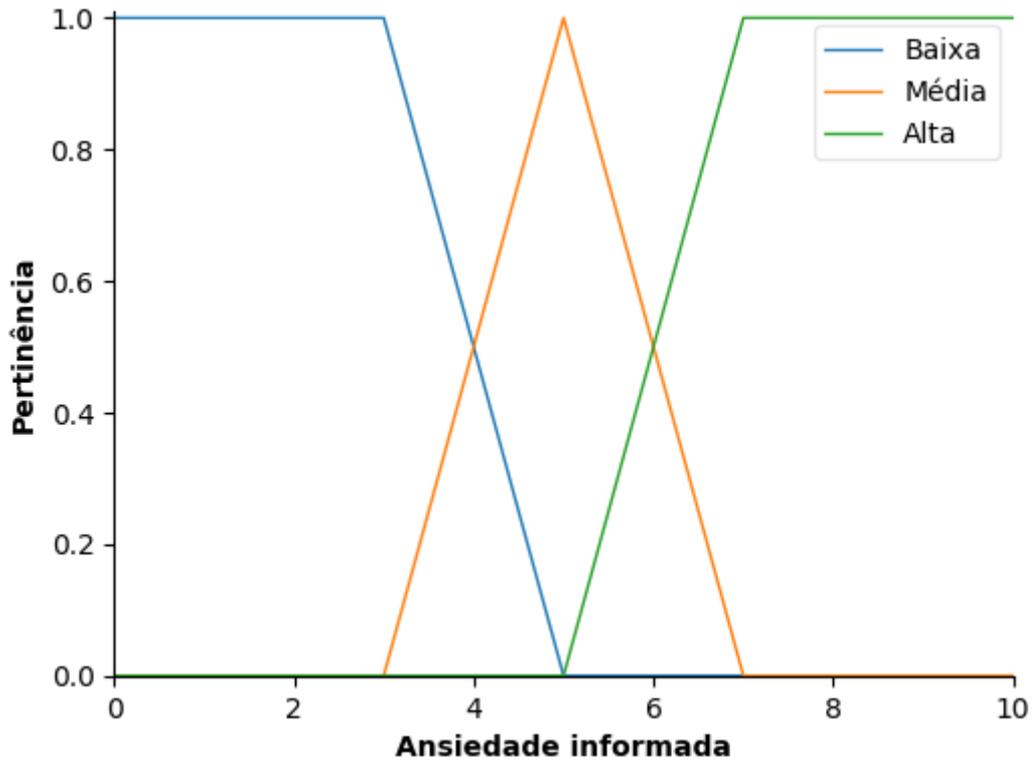
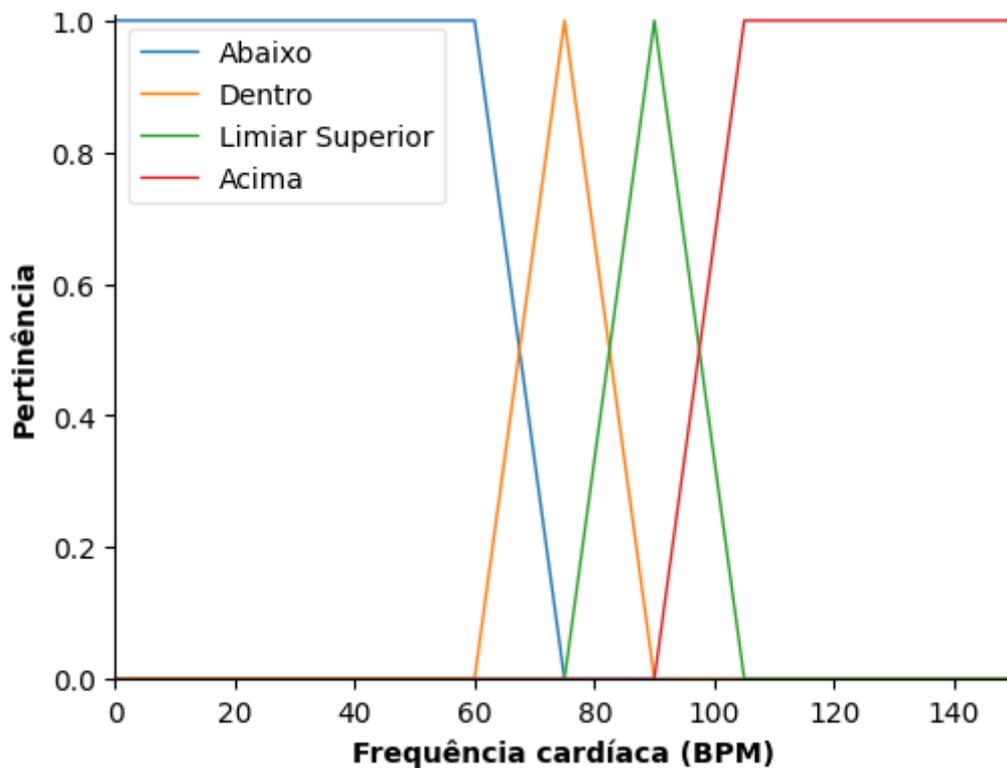


Figura 27 – Funções de pertinência para a variável Frequência Cardíaca.



As equações das retas para as variáveis de entrada são apresentadas na tabela 7:

Tabela 7 – Equações de reta das variáveis de entrada adaptadas de Cons e Costa (2022)

Conjunto	Intervalos	Pertinências (μ) / Retas de Pertinência
Ansiedade		
Leve	[0, 3)	$\mu = 1,0$
Leve \cap Moderado	[3, 5)	Min ($\mu = -0,5a + 2,5$; $\mu = 0,5a - 1,5$)
Moderado	5	$\mu = 1,0$
Moderado \cap Grave	(5, 7)	Min ($\mu = 0,5a - 2,5$; $\mu = -0,5a + 3,5$)
Grave	[7, 10]	$\mu = 1,0$
Frequência cardíaca		
Abaixo	[0, 60)	$\mu = 1,0$
Abaixo \cap Dentro	[60, 75)	Min ($\mu = fc/30 - 2$; $\mu = -fc/30 + 2,5$)
Dentro	75	$\mu = 1,0$
Dentro \cap Limiar superior	(75, 90)	Min ($\mu = fc/30 - 2,5$; $\mu = -fc/30 + 3$)
Limiar superior	90	$\mu = 1,0$
Limiar superior \cap Acima	(90, 105)	Min ($\mu = fc/30 - 3$; $\mu = -fc/30 + 3,5$)
Acima	[105, 150]	$\mu = 1,0$

Com as funções de pertinência definidas, são criadas as regras de decisão difusas a partir do conhecimento de uma terapeuta cognitivo-comportamental no trabalho de Cons e Costa (2022), que estabelecem como a variável de saída deve ser calculada a partir das variáveis de entrada. Na lógica do código, são definidas 12 regras de decisão, que são combinadas para formar um controlador nebuloso. Este controlador é capaz de determinar o nível de ansiedade do paciente com base nos valores de entrada.

O resultado do cálculo é um valor numérico que representa o nível de ansiedade calculado pelo sistema difuso.

A tabela 8 apresenta as associações das regras de inferência utilizadas:

Tabela 8 – Regras de inferência para as variáveis de entrada (CONS; COSTA, 2022)

		Frequência cardíaca			
		Abaixo	Dentro	Limiar Superior	Acima
Ansiedade informada	Baixa	Média	Baixa	Média	Alta
	Média	Média	Baixa	Média	Alta
	Alta	Alta	Média	Alta	Alta

- Regra 1: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “BAIXA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ABAIXO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “MÉDIA”, com pertinência máxima;
- Regra 2: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “MÉDIA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ABAIXO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “MÉDIA”, com pertinência máxima;
- Regra 3: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “ALTA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ABAIXO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “ALTA”, com pertinência máxima;

- Regra 4: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “BAIXA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “DENTRO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “BAIXA”, com pertinência máxima;
- Regra 5: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “MÉDIA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “DENTRO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “BAIXA”, com pertinência máxima;
- Regra 6: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “ALTA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “DENTRO”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “MÉDIA”, com pertinência máxima;
- Regra 7: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “BAIXA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “LIMIAR SUPERIOR”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “MÉDIA”, com pertinência máxima;
- Regra 8: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “MÉDIA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “LIMIAR SUPERIOR”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “MÉDIA”, com pertinência máxima;
- Regra 9: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “ALTA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “LIMIAR SUPERIOR”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “ALTA”, com pertinência máxima;
- Regra 10: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “BAIXA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ACIMA”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “ALTA”, com pertinência máxima;
- Regra 11: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “MÉDIA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ACIMA”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “ALTA”, com pertinência máxima;
- Regra 12: Se o nível de ansiedade informado pelo paciente foi categorizado como “ALTA” e a frequência cardíaca medida foi avaliada como “ACIMA”, então a classificação do nível de ansiedade do paciente será “ALTA”, com pertinência máxima.

Para efeito de exemplo, consideremos as seguintes entradas de dados:

- Frequência cardíaca = 75BPM (Conjunto de pertinência "Dentro")
- Ansiedade informada = 3 (Conjunto de pertinência "Baixa")

As funções de pertinência correspondentes aos dados de entrada de Frequência Cardíaca e de Ansiedade Informada são apresentadas nas figuras 28 e 29 respectivamente:

Figura 28 – Funções de pertinência para a variável Frequência Cardíaca no valor 75.

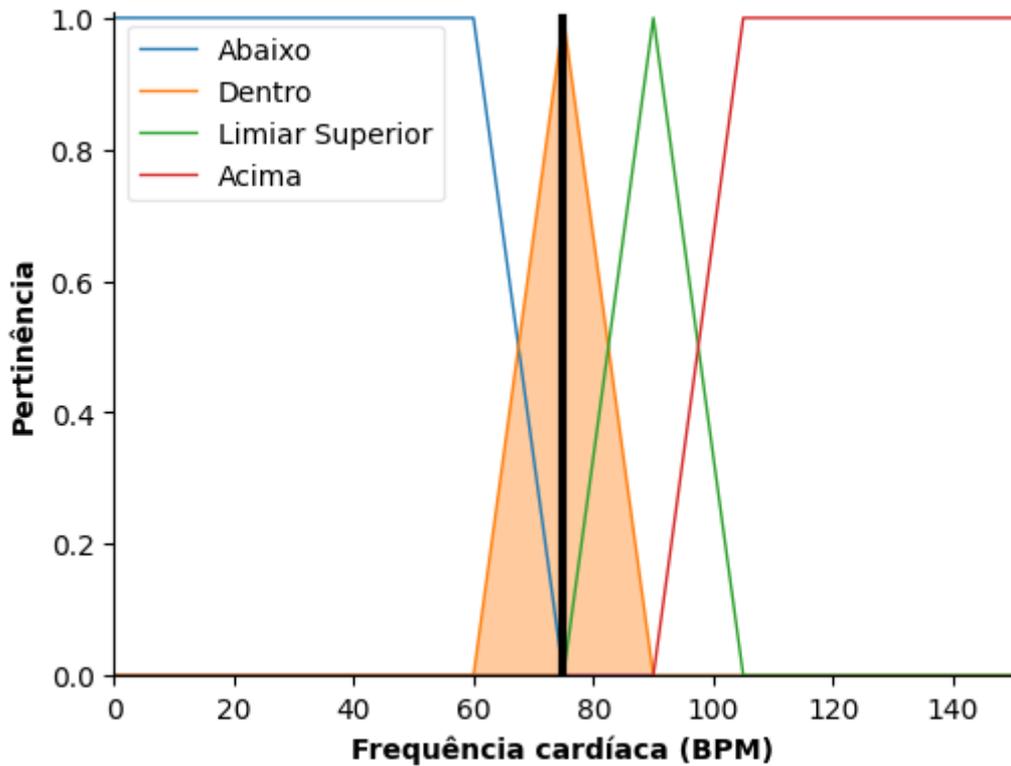
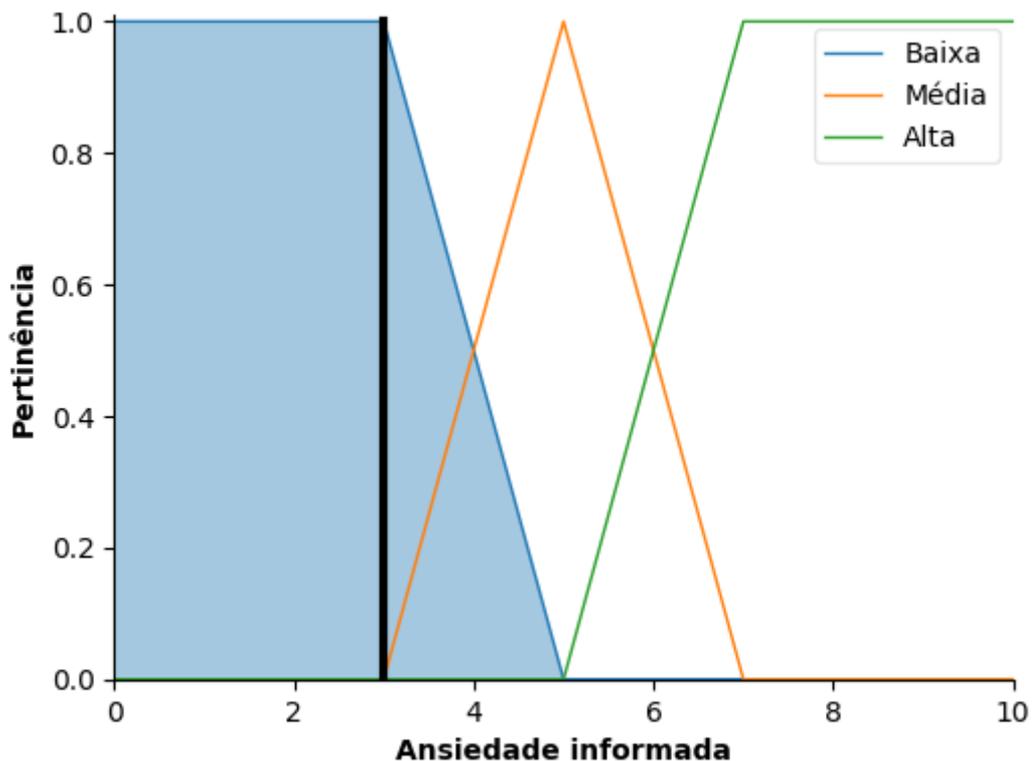


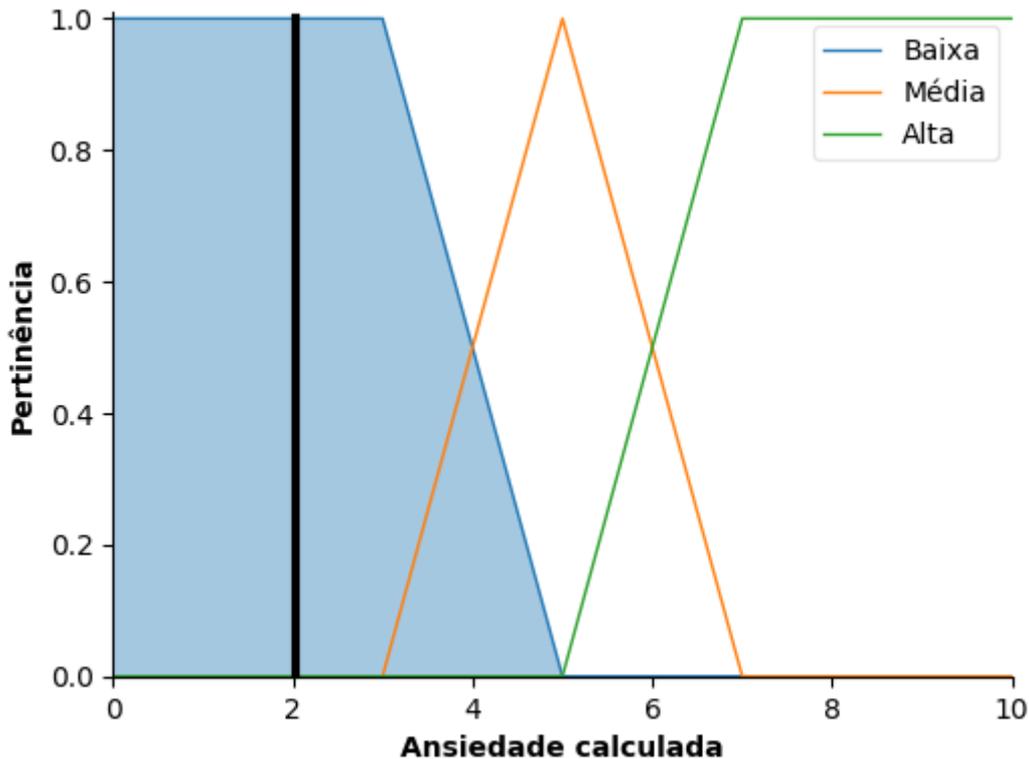
Figura 29 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Informada no valor 3.



O valor da variável de saída Ansiedade Calculada para esse sistema será $\approx 2,04$ (Conjunto de pertinência "Baixa") tendo sido executada, no caso, a Regra 4. A figura 30

apresenta as funções de pertinência da variável Ansiedade Calculada e o valor correspondente:

Figura 30 – Funções de pertinência para a variável Ansiedade Calculada. Valor de saída $\approx 2,04$.



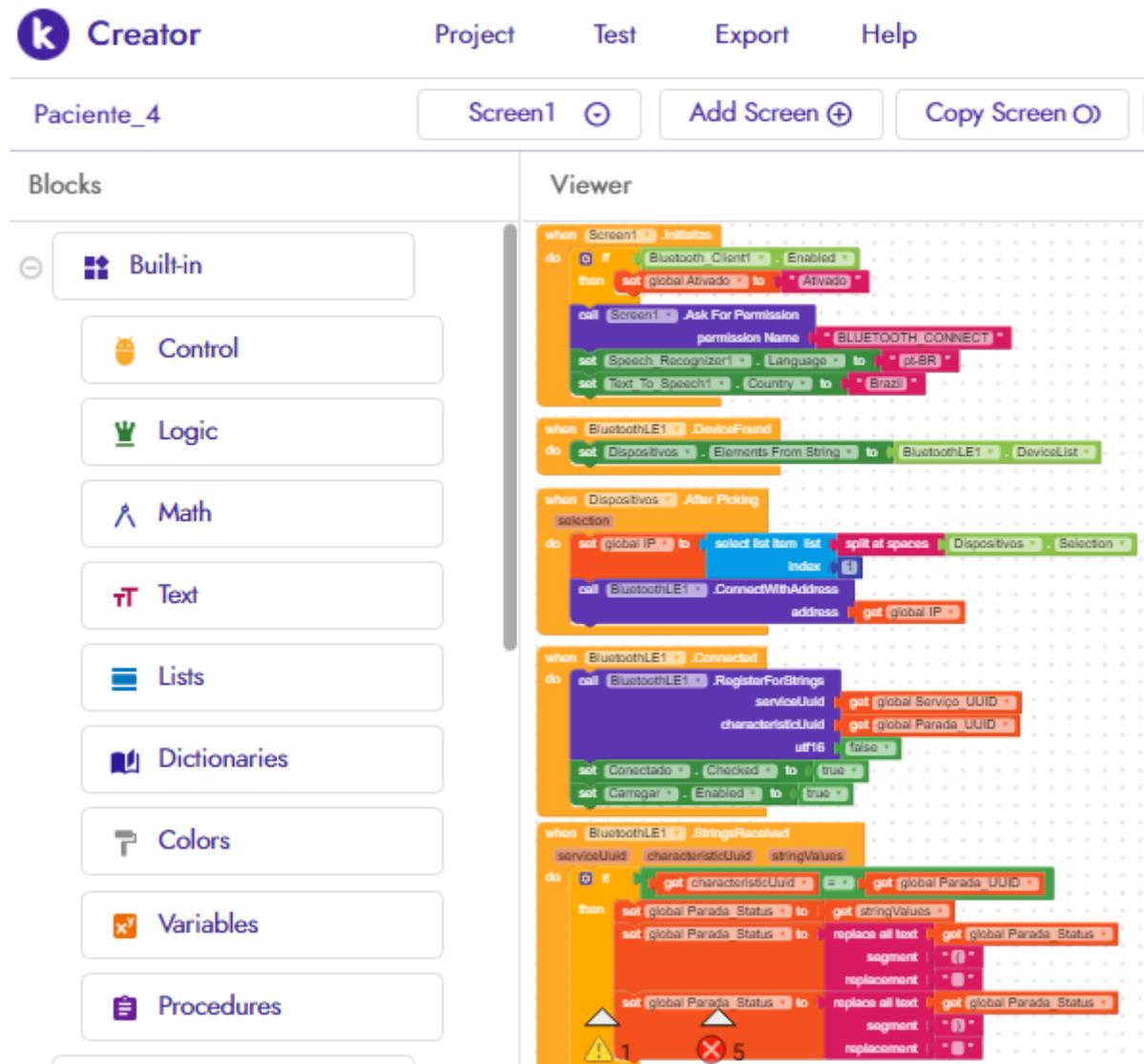
3.4.2 Programas *Android*

3.4.2.1 Módulo Paciente

O Módulo paciente é o aplicativo para *Android* executado no aparelho celular conectado ao óculos de realidade virtual (agente ambientador) e é o responsável pela exibição e alteração das cenas do ambiente 3D para o paciente. Esse *software* foi desenvolvido usando a linguagem Kodular (KODULAR, 2023). O Kodular é uma ferramenta de desenvolvimento de aplicativos *mobile*, com opção gratuita, que utiliza a estrutura *no-code*, ou seja, foi desenvolvida para ser de fácil utilização e possui uma rápida curva de aprendizagem. A plataforma é baseada na estrutura de programação em blocos de programação (CASA DO DESENVOLVEDOR, 2022). O Kodular foi desenvolvido utilizando a mesma filosofia do seu antecessor o AppInventor, *software* desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Importante ressaltar que a interface do Módulo paciente, apesar do nome, não é utilizada pelo paciente em termos de configuração. Todas as configurações dos Módulos do sistema são de exclusiva utilização por parte do terapeuta responsável pela sessão.

A figura 31 apresenta a interface de programação do Kodular com uma parte dos blocos de programação utilizados no Módulo Paciente:

Figura 31 – Blocos de programação utilizados no Módulo Paciente.



O Módulo paciente é constituído por três telas. A primeira (Figura 32) possui três botões:

- Botão "Dispositivos": É o botão que direciona à tela de seleção do dispositivo a ser conectado via *Bluetooth* à este módulo, no caso, ao Agente Controlador;
- Botão "Desconectar": É o botão que aciona a rotina de desconexão da comunicação *Bluetooth*;
- Botão "Carregar RV": É o botão responsável por realizar o carregamento inicial do ambiente 3D.

A caixa de seleção "Conectado", logo acima do botão "Dispositivos", é preenchida por uma marcação logo após o estabelecimento da conexão *Bluetooth*.

Figura 32 – Tela inicial do Módulo Paciente.



A segunda tela (Figura 33) do módulo é apresentada após o acionamento do botão "Dispositivos" e apresenta a lista de dispositivos *Bluetooth* próximos e disponíveis para conexão:

Figura 33 – Tela de seleção de dispositivos *Bluetooth*.

Após a seleção do dispositivo, é estabelecida a conexão *Bluetooth* entre o Módulo Paciente e o dispositivo escolhido, no caso, o módulo *Bluetooth* do Microcontrolador Esp32 (Agente controlador). O aplicativo, após a seleção do dispositivo, retorna à tela inicial e coloca uma marca na caixa de seleção "Conectado".

A terceira tela do aplicativo, somente é apresentada quando solicitado o carregamento do ambiente 3D para o paciente. A figura 34 apresenta um exemplo de cena 3D, com tela duplicada, carregada no Módulo Paciente para um possível tratamento de Acrofobia (medo de altura).

O PhobIA 3DS permite que sejam carregadas cenas 3D preexistentes tanto em armazenamento local quanto on-line como, por exemplo, links do *YouTube*.

Figura 34 – Cena 3D para Acrofobia (3D 'N' PLAY, 2022).



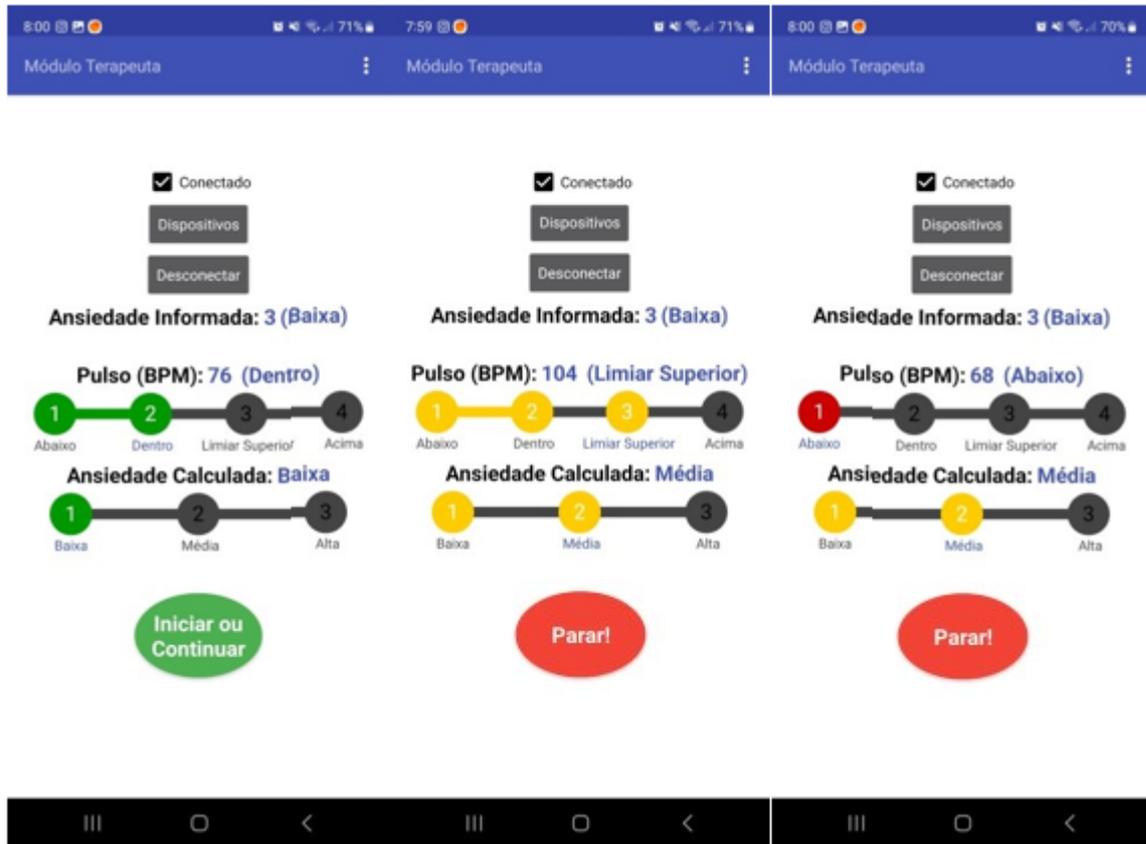
3.4.2.2 Módulo Terapeuta

O Módulo Terapeuta é o aplicativo para *Android* executado no aparelho celular do terapeuta responsável pela sessão de tratamento. Este módulo é o responsável pela exibição de todos os parâmetros medidos e calculados pelo sistema. Pela tela do aplicativo, o terapeuta pode acompanhar todas as informações relativas ao estado do paciente em tempo real. Também, é possível executar ações de alteração de cena e de Ansiedade informada pelo paciente. Este módulo, assim como o Módulo Paciente, foi desenvolvido usando a linguagem Kodular.

O Módulo Terapeuta é constituído por duas telas. A tela principal (Figura 35) possui os mesmo botões Dispositivos e Desconectar presentes no Módulo Paciente. Inclusive as mesmas funções e telas. A tela principal apresenta mais um botão chamado Iniciar ou Continuar que serve para realizar interrupções ou mudanças de cena, por ação do terapeuta, caso necessário.

A tela principal, além dos botões citados, apresenta em tempo real o valor da ansiedade informada pelo paciente na escala SUDS, sua frequência cardíaca e o valor de sua ansiedade calculada pela lógica difusa. Além dos valores numéricos, também é apresentada uma escala colorida dinâmica representativa dos conjuntos de inferência para a variável Ansiedade Informada (Baixa, média e alta), Cardíaca (Abaixo, dentro, Limiar superior e acima) e Ansiedade Calculada (Baixa, média e alta).

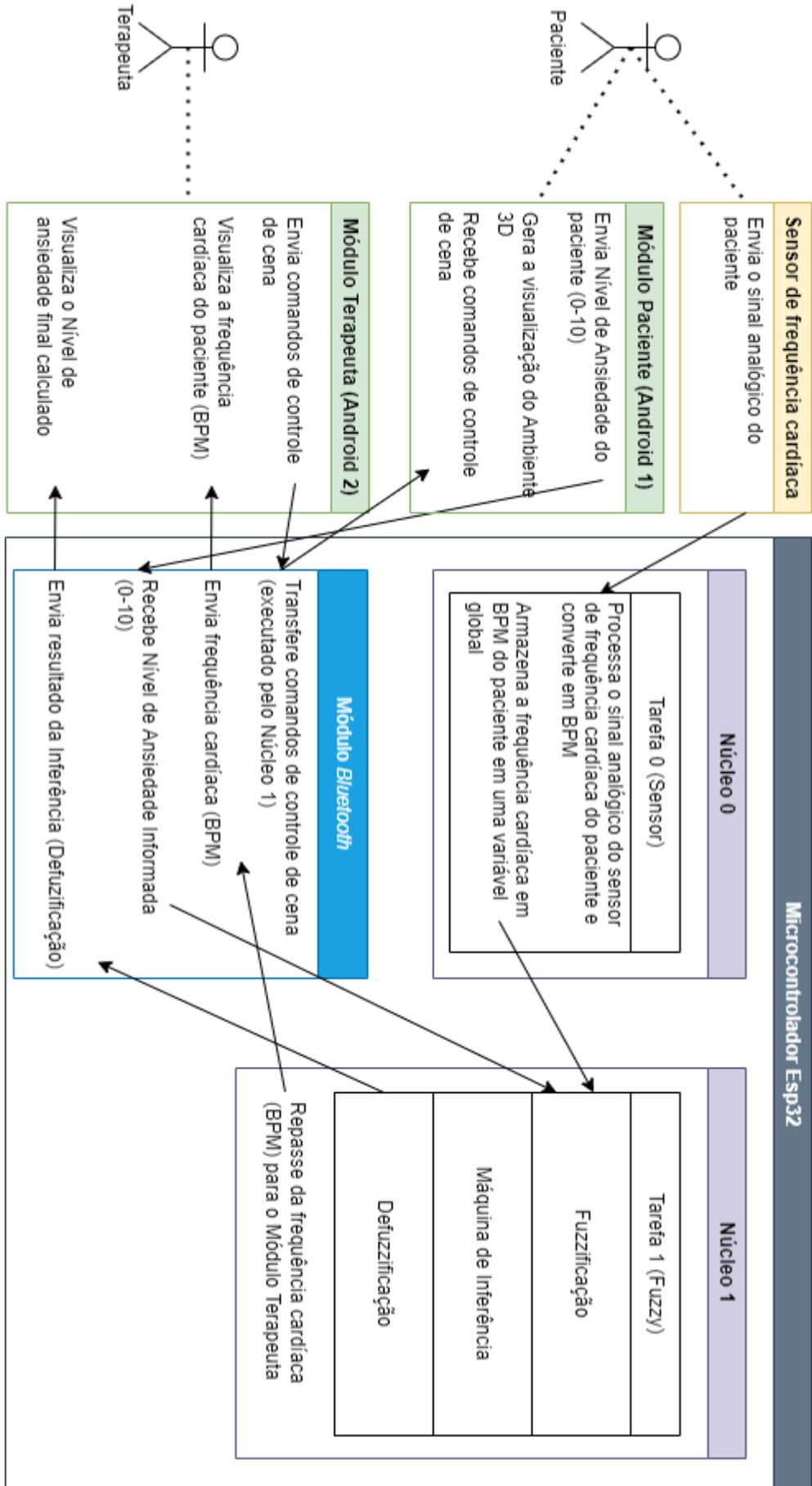
Figura 35 – Tela principal do Módulo Terapeuta sendo apresentada em três situações diferentes de medição.



3.5 Integração de *software* e *hardware*

A figura 36 apresenta um diagrama representativo do fluxo de informações entre os componentes de *software* e de *hardware* do sistema proposto:

Figura 36 – Fluxo de integração de *software* e de *hardware*



Após a montagem final do *hardware* com todos os componentes e instalação de todos os aplicativos, foi realizado o primeiro teste informal de uso do sistema PhobIA 3DS.

A figura 37 apresenta a montagem final do *hardware* sendo testado pela primeira vez:

Figura 37 – Teste inicial do sistema em sua montagem final.



4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

A adoção de um produto tecnológico para uso por pessoas depende da qualidade de várias dimensões associadas à área de Interface Humano-Computador (IHC). Em geral, sua aceitação e difusão requer que sua interface tenha qualidade gráfica e funcional, que tenha funcionalidades específicas para sua área final e tenha utilidade. Esses aspectos são associados a algumas dimensões da usabilidade do produto.

Segundo a ISO 9426-11 (ABNT, 2021) a usabilidade de um *software* está associada às medidas de eficiência, eficácia e satisfação de um usuário ao interagir com um sistema, produto ou serviços, em um contexto de uso específico. A eficácia é relacionada com a acurácia e completude com as quais usuários alcançam objetivos específicos. A eficiência relaciona os recursos gastos em relação à acurácia e abrangência com as quais usuários atingem objetivos. Já a satisfação considera as respostas físicas, cognitivas e emocionais do usuário resultantes do uso de um sistema, produto ou serviço e verifica se atendem às necessidades e expectativas do usuário (ABNT, 2021).

Existem muitas técnicas e dimensões a serem consideradas na avaliação de um produto. Entretanto, no caso do PhobIA 3DS, como uma primeira avaliação, vamos nos atentar às questões da usabilidade, da relevância para a área e da interface. Segundo Zainab et al. (2023) a usabilidade é um aspecto fundamental para sistemas que são usados na área da saúde, considerando fatores de risco envolvidos. Segundo os autores, é importante que o sistema seja simples e efetivo para todos, independente dos níveis de compreensão dos usuários. Para eles a usabilidade é a maior questão envolvida na adoção de sistemas de VRET.

Para avaliar a relevância são colocadas 4 questões, que serão analisadas de forma qualitativa e visam identificar a percepção dos usuários em relação a utilidade do *software*.

A interface é avaliada por meio de 7 perguntas que têm por objetivo identificar a percepção da qualidade das dinâmicas adotadas no PhobIA 3DS, problemas na comunicação oral, ocorrência de tonteiras e atrasos na geração das cenas.

Para avaliar a usabilidade foi adotado o System Usability Scale (SUS). Este questionário propõe 10 sentenças relativas ao produto e são formuladas alternadamente de forma afirmativa e negativa. Para responder é usada a escala Likert, variando entre valores de 1 (Discordo Fortemente) a 5 (Concordo Fortemente) (BANGOR; KORTUM; MILLER, 2008). Para calcular a pontuação final é usado o seguinte método: para os itens ímpares (1, 3, 5, 7, 9) deve-se subtrair 1 do total da pontuação dada por cada usuário; para os itens pares (2, 4, 6, 8, 10), deve-se subtrair 5 da pontuação dada por cada usuário. Ao final, os valores gerados pelas operações são somados e o resultado é multiplicado por 2,5. Se o valor final for inferior a 35,7, a classificação é considerada ruim, enquanto que valores maiores do que 71,4 são considerados bons e acima de 85,5 são excelentes. O processo de avaliação teve ainda, uma pergunta aberta para que o participante pudesse expressar livremente a sua opinião acerca do sistema. O modelo do questionário utilizado no teste está no Apêndice B.

Os procedimentos da avaliação, resultados e análises são apresentados a seguir.

4.1 Procedimentos dos testes com participantes voluntários

O projeto de avaliação do sistema PhobIA 3DS foi aprovado pelo Comitê de Ética da UERJ, protocolo n. 70149523.5.0000.5282. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), pré-requisito indispensável para os testes, pode ser visualizado no Apêndice A. Foram realizados testes com seis psicólogos voluntários que, após a leitura e assinatura do TCLE, utilizaram o sistema PhobIA 3DS em seus respectivos locais de atendimento profissional. Para o contato com os participantes voluntários foi utilizado o método Bola de Neve (VINUTO, 2014), em que profissionais conhecidos dos autores encaminham convites de participação na pesquisa, para profissionais de sua relação pessoal, ou profissional. Esse procedimento permite a expansão da amostra. No total, 6 voluntários participaram dos procedimentos de teste e de avaliação do sistema.

4.2 Preparação da sessão

Antes do início de cada sessão foram passadas aos profissionais as informações relativas à motivação e aos objetivos do trabalho, assim como, o roteiro seguido pelo sistema e possíveis sintomas físicos como náuseas ou tonteados. Cada voluntário, em sessões separadas, foi colocado em posição sentado, para que não ocorressem acidentes devido à exposição ao ambiente virtual poder causar tonturas em algumas pessoas. Essa condição resultante da exposição a ambientes virtuais é chamada de *Cybersickness* em português "náusea digital". Segundo Porcino, Trevisan e Clua (2021), este desconforto pode variar, ou seja, alguns indivíduos são mais suscetíveis que outros. Ainda em Porcino, Trevisan e Clua (2021), as razões para esse desconforto apontam principalmente para conflitos sensoriais entre os sistemas vestibular e visual em humanos, ou seja, o cérebro recebe uma informação visual de movimento que não corresponde a um movimento físico real.

4.3 Preparação do sistema PhobIA 3DS

Inicialmente, a chave liga/desliga do módulo Controlador foi colocada na posição "Ligada" (Figura 21) e tanto o módulo Analisador como o Ambientador foram conectados com o módulo Controlador via Bluetooth. O módulo Ambientador foi encaixado no suporte do capacete RV (Figura 9) que, por sua vez, foi colocado na cabeça do voluntário. Após o posicionamento correto do equipamento, e ajustes de foco e posição das lentes, foi conectado também o sensor de frequência cardíaca (Figura 18) ao lóbulo da orelha.

4.4 Roteiro de execução

O Sistema, previamente configurado para uma execução padrão (Figura 13), foi iniciado pelo acionamento do botão "Iniciar" presente na tela do módulo Analisador. Então, o sistema pergunta, em voz sintetizada, qual o nível de ansiedade do paciente. O participante, por sua vez, responde também por voz, o seu nível de ansiedade considerando a escala de 0 a 10 (escala SUDS). O sistema analisa a resposta dada e a frequência cardíaca obtida e calcula o nível de ansiedade resultante via o módulo Fuzzy. Caso o nível de ansiedade seja considerado "Alta", o sistema não iniciará a apresentação do ambiente virtual ao voluntário. No caso do nível de ansiedade inicial calculado ser "Baixa" ou "Média", o sistema irá liberar a apresentação dos vídeos em RV. Iniciada a execução do ambiente virtual, o sistema verifica a cada 15 segundos a pulsação do voluntário. Caso a

pulsação atinja 105 BPM o sistema irá pausar a execução e perguntar novamente o nível de ansiedade do voluntário, impedindo o prosseguimento sempre que o nível de ansiedade calculado seja considerado “Alta”. Caso seja necessária uma intervenção manual durante a sessão, o sistema permite que seja pressionado o botão “Parar!” presente na tela do agente Analisador (Figura 35). Este acionamento reexecuta a rotina de pausa, perguntando novamente o nível de ansiedade ao voluntário. Esta funcionalidade é particularmente útil para casos em que seja percebido um nível de ansiedade elevado mesmo que a pulsação não tenha atingido o valor limite de 105 BPM.

Em relação ao ambiente 3D, foram selecionados 2 vídeos em sequência. O primeiro vídeo apresenta um tobogã (Figura 38) onde o voluntário tem a percepção de estar percorrendo o trajeto com várias curvas, subidas e descidas. O segundo vídeo apresenta um voo de avião (Figura 39) onde o voluntário tem a percepção de estar voando sobre uma cidade. A passagem de um vídeo para outro está condicionada ao nível de ansiedade calculado pelo sistema, visto que o objetivo é simular as etapas de dessensibilização de um paciente em relação ao estímulo fóbico apresentado. Ao final da execução de cada vídeo, o sistema informa por voz que irá passar para a próxima etapa. Terminadas todas as etapas, o sistema informa que todas as etapas foram concluídas. Com o término da sessão de teste, o voluntário recebeu um *link* do *Google Forms* para responder a um questionário (Apêndice B) com perguntas relativas ao perfil do profissional que testou o sistema, assim como, questões relativas à usabilidade e relevância do sistema PhobIA 3DS.

Figura 38 – Vídeo 3D Tobogã (360 VACATION VR , 2018).



Figura 39 – Vídeo 3D Avião (S GAMING VR , 2023).



4.5 Resultados obtidos

De posse dos dados obtidos pela resposta ao questionário dos 6 participantes voluntários, foram gerados gráficos representativos dos itens avaliados com seus respectivos percentuais.

4.5.1 Dados relativos ao perfil de cada voluntário

As Figuras 40, 41, 42, 43 e 44 apresentam os dados obtidos nesta etapa de avaliação.

Figura 40 – Resultado da pergunta "Qual sua faixa etária?".

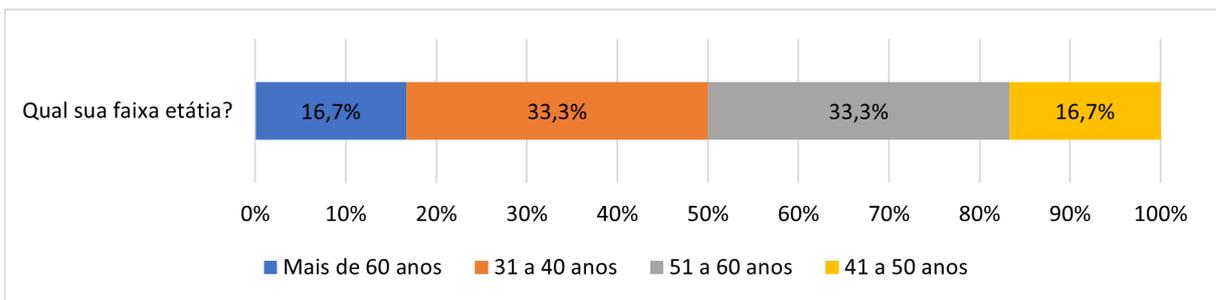


Figura 41 – Resultado da pergunta "Há quanto tempo você trabalha na área de terapia comportamental?".



Figura 42 – Resultado da pergunta "Você trabalha em que tipo de instituição?".

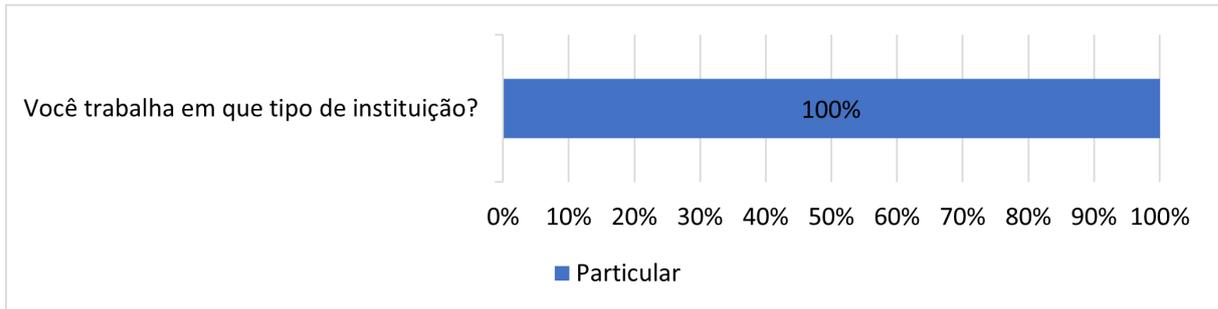


Figura 43 – Resultado da pergunta "Qual é o seu nível de experiência pessoal no uso de tecnologias computacionais e de comunicação?".

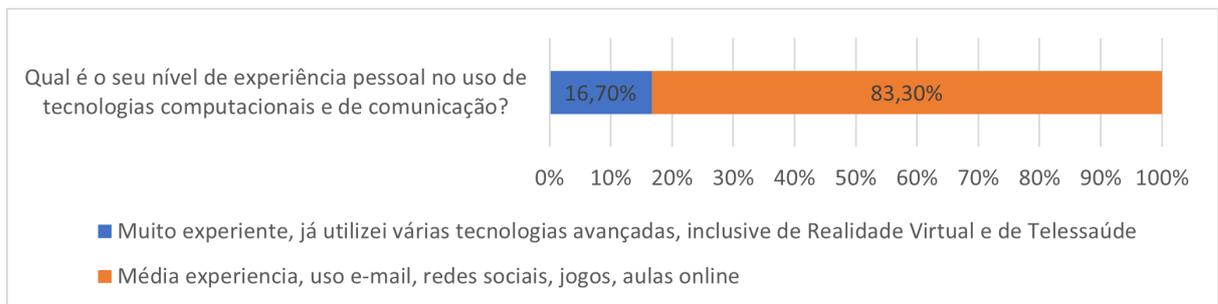


Figura 44 – Resultado da pergunta "Você usa tecnologias computacionais e de comunicação na sua prática de trabalho com seus pacientes?".



Os dados relativos ao perfil de cada voluntário, obtidos através do questionário (Apêndice B), possibilitaram observar que são pessoas com bastante experiência na área de psicologia comportamental. A faixa etária dos participantes se concentrou entre 31 e 60 anos com um percentual de 66,6%. Com relação a atuação na área de terapia ocupacional, 50% dos profissionais informaram que trabalham com essa abordagem, ou seja, a metade da amostra avaliada. Todos os participantes (100%) trabalham de forma particular, ou seja não são vinculados a nenhum órgão público. Em relação à experiência pessoal no uso das tecnologias computacionais, 83,3% dos participantes declararam ter experiência, sendo que, todos (100%) informaram utilizar as tecnologias computacionais e de comunicação com seus pacientes. Levando-se em consideração principalmente o tempo de experiência profissional informado e o uso frequente das tecnologias computacionais, o resultado desta etapa de avaliação ressalta a importância da opinião desses profissionais em relação ao sistema Phobia 3DS.

4.5.2 Dados relativos à usabilidade do sistema

A segunda etapa do questionário (Apêndice B) consistiu principalmente na avaliação da usabilidade e da relevância do sistema PhobIA 3DS. O questionário apresenta 21 afirmações que devem ser avaliadas considerando uma escala Likert (MCLEOD, SAUL, 2018), variando entre valores de 0 (Discordo Totalmente) a 4 (Concordo Totalmente). A Tabela 9 apresenta a escala adotada.

Tabela 9 – Escala Liker

Índice de concordância	Respostas
0	Discordo totalmente
1	Discordo
2	Sem opinião
3	Concordo
4	Concordo totalmente

Nas tabelas 10, 11 e 12 são apresentados respectivamente os instrumentos de avaliação para as categorias "Relevância", "Interface" e "Usabilidade", assim como os resultados obtidos após preenchimento do questionário por todos os participantes.

Tabela 10 – Instrumento de avaliação da relevância do sistema

Item de avaliação	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo plenamente
1- O sistema tem potencial de diminuir o nível de estresse dos pacientes.	-	1 (16,7%)	-	4 (66,7%)	1 (16,7%)
2- É uma ferramenta relevante para a sociedade.	-	-	-	3 (50%)	3 (50%)
3- O sistema pode servir como complemento a uma terapia tradicional	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
4- O uso do sistema facilitaria a dessensibilização de fobias específicas	-	-	-	3 (50%)	3 (50%)

Tabela 11 – Instrumento de avaliação da interface do sistema

Item de avaliação	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo plenamente
1- A fala do terapeuta virtual é clara e facilmente compreensível	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
2- As cenas apresentadas são adequadas aos objetivos do sistema	-	-	-	2 (33,3%)	4 (66,7)
3- A forma de comunicação por voz é simples e eficaz	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
4- A interface do módulo do terapeuta contempla itens importantes para o controle da evolução do paciente	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
5- Houve atrasos na apresentação das cenas	6 (100%)	-	-	-	-
6- A dinâmica da interação com o sistema é eficiente	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
7- Me senti bem utilizando o sistema, sem tonteados ou náuseas	2 (33,3%)	-	-	-	4 (66,7)

Tabela 12 – Instrumento de avaliação da usabilidade do sistema - SUS

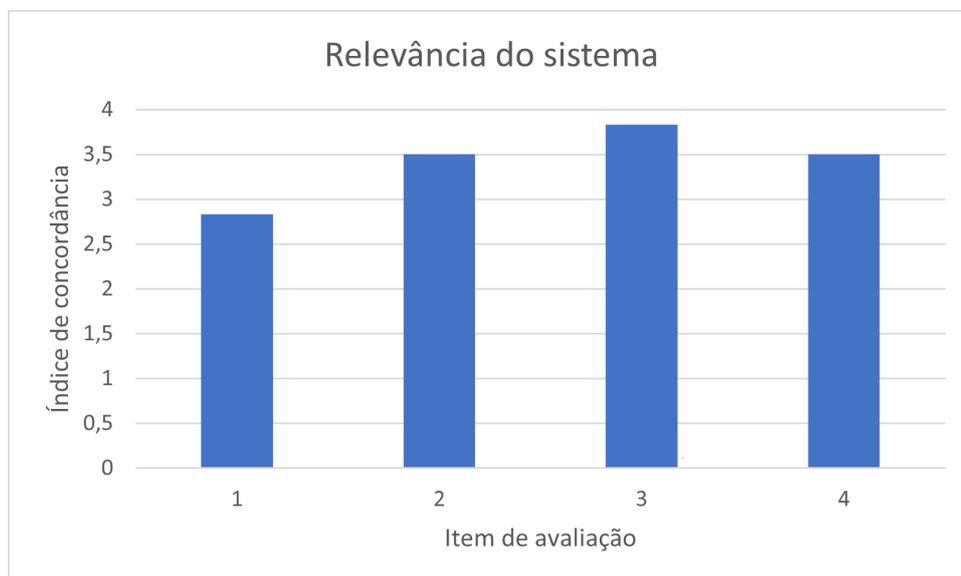
Item de avaliação	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo plenamente
1- Eu gostaria de usar o PhobIA 3DS com frequência	-	-	4 (66,7%)	1 (16,7%)	1 (16,7%)
2- Eu acho o PhobIA 3DS desnecessariamente complexo	5 (83,3%)	1 (16,7%)	-	-	-
3- Eu achei que o PhobIA 3DS é fácil de usar	-	-	-	1 (16,7%)	5 (83,3%)
4- Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o PhobIA 3DS	2 (33,3%)	4 (66,7%)	-	-	-
5- Eu acho que as várias funções do PhobIA 3DS estão muito bem integradas	-	-	1 (16,7%)	2 (33,3%)	3 (50%)
6- Eu acho que o PhobIA 3DS apresenta muitas inconsistências	5 (83,3%)	1 (16,7%)	-	-	-
7- Eu acho que as pessoas aprenderão a usar esse sistema rapidamente	-	-	-	2 (33,3%)	4 (66,7)
8- Eu achei o PhobIA 3DS complicado de usar	5 (83,3%)	1 (16,7%)	-	-	-
9- Eu me senti confiante em usar o PhobIA 3DS	-	-	2 (33,3%)	-	4 (66,7)
10- Eu tive que aprender várias coisas novas para usar o PhobIA 3DS	2 (33,3%)	3 (50%)	1 (16,7%)	-	-

Para efeito de uma avaliação visualmente mais inteligível, foram produzidas 3 visualizações gráficas de média ponderada dos resultados obtidos em cada item de cada categoria de avaliação (Figuras 45, 46 e 47), onde é possível verificar o gráfico resultante para cada item do questionário.

Uma consideração prévia se faz necessária antes de serem avaliados os itens respondidos pelos voluntários. Existem afirmações em que, quanto maior o valor dado (até o máximo 4), mais bem avaliado será o sistema no quesito. Em contrário, outras afirmações representam uma melhor avaliação do item a medida que o valor se aproxima do zero.

Na figura 45, em que são apresentados os resultados sobre a Relevância do sistema, todos os itens correspondem a afirmações cujo melhor resultado para a avaliação será o mais próximo de 4.

Figura 45 – Média dos resultados obtidos em cada proposição da dimensão "Relevância".



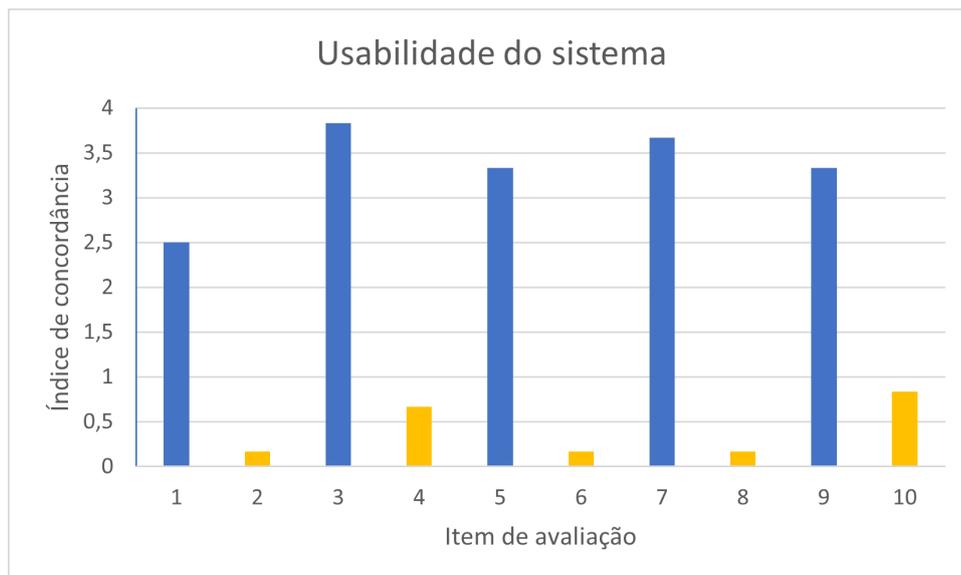
Na Figura 46 chamamos a atenção para o item de número 5 que foi elaborado na forma negativa e, neste caso, valores mais baixos são os que indicam um aspecto positivo.

Figura 46 – Média dos resultados obtidos em cada item da categoria "Interface".



A escala SUS, cujos resultados são apresentados na Figura 47, é formulada com proposições afirmativas e negativas alternadamente. Nas proposições 2, 4, 6, 8 e 10, representadas na cor amarela, quanto mais baixo o valor, mais positivo é o resultado. Nas proposições 1, 3, 5, 7 e 9, representadas na cor azul, quanto maior o valor, mais positivo é o resultado.

Figura 47 – Média dos resultados obtidos em cada item da categoria "Usabilidade".



4.5.2.1 Discussão dos resultados da avaliação do sistema

Na avaliação da dimensão "relevância" verificou-se que o sistema Phobia 3DS obteve uma pontuação de 3,42, valor obtido pela média dos valores de cada item dessa categoria.

Levando-se em consideração que o valor máximo é 4, pode-se concluir que o sistema foi considerado de elevada relevância para uso como ferramenta de apoio no tratamento das fobias pelos participantes da pesquisa.

Na figura 46, que apresenta os resultados da avaliação da interface do sistema, os itens 1, 2, 3, 4 e 6 (barras na cor azul) representam afirmações cujo maior resultado aumenta a avaliação positiva do sistema. O item 5 representa o caso oposto, ou seja, quanto menor o valor, mais bem avaliado será o sistema. No caso do item 7, a afirmação corresponde a uma característica que se refere aos efeitos físicos que podem ser sentidos pelos voluntários quando expostos a um ambiente virtual. Na afirmação são citadas as tonteiras ou náuseas. Em dois casos foram informadas essas reações, sendo um participante com tonteria leve e outro com náuseas. O participante com tonteiras preferiu continuar com o teste até o final previsto, enquanto que o que sentiu náuseas optou por interromper o teste nos segundos finais da sessão. Pesquisas recentes afirmam que ainda não há como prever a possibilidade das pessoas se sentirem mal durante experiências imersivas e que há uma predisposição pessoal, relações com a idade e até mesmo com o gênero (CHANDRA; JAMIY; REZA, 2022), (TIAN; LOPES; BOULIC, 2022).

O resultado pode ser resumido da seguinte forma:

- Média dos resultados cujo valor máximo representa avaliação positiva (barras azuis) = 3,62
- Média dos resultados cujo valor mínimo representa avaliação positiva (item 5) = 0 (zero)

Levando-se em consideração as médias calculadas para cada tipo de afirmação do questionário, pode-se concluir que a interface do sistema recebeu uma pontuação elevada, próxima à máxima na avaliação dos profissionais.

Para a avaliação da usabilidade do sistema (Figura 47), foi adotado o método de cálculo da usabilidade citado na introdução do Capítulo 4. A tabela 13 apresenta a pontuação calculada para cada participante e para todos os itens respondidos:

Tabela 13 – Tabela para cálculo da usabilidade do sistema (SUS).

	Voluntário 1	Voluntário 2	Voluntário 3	Voluntário 4	Voluntário 5	Voluntário 6	Média
Item 1 (Valor-1)	1	3	2	1	1	1	
Item 2 (5-Valor)	5	5	5	4	5	5	
Item 3 (Valor-1)	2	3	3	3	3	3	
Item 4 (5-Valor)	4	4	5	4	5	4	
Item 5 (Valor-1)	2	3	3	2	3	1	
Item 6 (5-Valor)	5	5	4	5	5	5	
Item 7 (Valor-1)	2	3	3	2	3	3	
Item 8 (5-Valor)	5	5	5	4	5	5	
Item 9 (Valor-1)	1	3	3	3	3	1	
Item 10 (5-Valor)	3	5	4	4	5	4	
Soma*2,5	75	97,5	92,5	80	95	80	86,67

Como apresentado ao final da coluna "Média" da Tabela 13, o resultado do cálculo da usabilidade do sistema foi $\approx 86,67$.

Levando-se em consideração que o valor calculado se encontra acima de 85,5, o sistema foi classificado como "Excelente" em termos de usabilidade.

4.5.3 Sugestões e considerações dos profissionais

Ao final do questionário de avaliação (Apêndice B), há um campo não obrigatório de livre escrita para sugestões. Apenas dois dos participantes escreveram. Abaixo, estão transcritos na íntegra os comentários:

Voluntário 1: "A primeira pergunta: O sistema tem o potencial de diminuir o nível de estresse dos pacientes, o sistema sozinho, não, é um sistema que oferece conteúdo para o psicólogo trabalhar ajudando o paciente a diminuir o nível de estresse."

Voluntário 2: "Sugiro a aplicação do instrumento de forma individual e em grupo para avaliar o quanto a manifestação expressiva do grupo pode suggestionar as variações dos resultados."

Alguns comentários e sugestões foram dadas verbalmente. O comentário mais recorrente foi a facilidade que o sistema oferece de serem utilizados vídeos à escolha do terapeuta. Outra informação recorrente foi que, em geral, vídeos para realidade virtual são exageradamente imersivos e detalhados, porém, o paciente que sofre de algum transtorno ligado às fobias não necessita desse nível de qualidade.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo apresentar uma combinação tecnológica de baixo custo embarcada em uma placa ESP32, com controle de multiagentes e Lógica Fuzzy, com suporte à comunicação por linguagem natural, para ser utilizado na área de Psicologia Clínica, relacionada aos Transtornos de Ansiedade. Os cenários 3D que são apresentados aos usuários, são alterados em tempo real, com interferência mínima por parte do terapeuta e considerando as necessidades de cada paciente.

Nesse caso, a partir dos resultados de uma revisão bibliográfica, foram identificados os requisitos do sistema, foi construído um protótipo que integrou várias tecnologias de *software* e de *hardware* controladas por inteligência artificial e que tornou possível a automação de sessões de dessensibilização no tratamento de fobias utilizando ambientes virtuais 3D. O projeto, cujo sistema resultante foi chamado de PhobIA 3DS, foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa e sua avaliação foi aprovada.

O protótipo foi construído utilizando tecnologias de baixo custo e, na maioria dos casos, de código aberto. O protótipo também apresentou características importantes como, reconhecimento de fala, portabilidade, tamanho reduzido, baixo peso, elevada autonomia, medição automática de frequência cardíaca, comunicação sem fio e ampla possibilidade de customização e personalização.

Diferentemente da maior parte dos trabalhos citados na revisão bibliográfica, o sistema PhobIA 3DS, foi testado e avaliado por seis profissionais da área da psicologia clínica e obteve pontuações elevadas quanto à sua relevância, interface e usabilidade. Em relação ao número de participantes na avaliação do sistema, Nielsen (2000) coloca que uma amostra de pelo menos cinco participantes permite identificar a maior parte de problemas de qualidade, em diferentes dimensões de um sistema.

Como contribuições este trabalho apresentou uma integração de tecnologias da IA em uma placa Esp32 que poderá ser conectada a um *smartphone* acoplado a óculos de baixo custo, abrindo perspectivas de uso de tecnologias baratas em tratamentos de fobias. Na revisão da literatura da área não foi encontrada proposta semelhante e isso foi ressaltado na Tabela 1.

A maior dificuldade encontrada durante o desenvolvimento deste trabalho foi a integração entre as várias tecnologias de *software* e de *hardware* envolvidas. Outra dificuldade encontrada foi a escassez de trabalhos a serem utilizados como referência no desenvolvimento do protótipo, mais especificamente em relação ao microcontrolador Esp32 em aplicações direcionadas à realidade virtual. Em várias situações, durante as etapas de prototipagem, foi necessário buscar alternativas de programação para que fosse evitado o uso de componentes de *software* pagos, principalmente no caso das comunicações via sinal *Bluetooth*. Com relação ao teste de uso do sistema por voluntários, uma dificuldade encontrada foi a ocorrência da chamada *Cybersickness*, comentada no Capítulo 4. Essa condição é um fator limitante para a utilização do sistema, visto que não se pode afirmar se um determinado indivíduo sofrerá ou não esse efeito, salvo em casos de ocorrência anterior relatada ou de problemas como labirintite.

Outros aspectos que podem ser relacionados com a *Cybersickness* é a idade, pessoas com mais de quarenta anos têm mais prevalência de sintomas associados ao *motion sickness*; e aplicações com ângulo de visão menor têm mais prevalência de problemas (CHANDRA; JAMIY; REZA, 2022). Nossa aplicação possui ângulo de visão limitado devido à largura da tela do *smartphone*, podendo causar mais problemas associados ao *Cybersickness*.

Como ameaças à validade podemos citar o baixo número de cenas que foram utilizadas nos testes, que podem não ter sido suficientes para avaliar o aumento ou diminuição dos estímulos relacionados ao nível de estresse do paciente. Outros aspectos que podem ser mencionados é o pequeno número de participantes e o uso de escalas personalizadas na avaliação.

Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros pretende-se colocar um módulo de relaxamento, para o caso do nível de ansiedade subir muito de acordo com o que propõem Kosonogov et al. (2023). Segundo os autores, muitos estudos têm mostrado que o uso da realidade virtual pode induzir a uma grande variedade de emoções e o uso de intervenções psicoterapêuticas adicionais como as técnicas de relaxamento, podem amenizar os problemas de estresse durante as sessões virtuais. Outro aspecto relacionado a estas questões é ter uma coleção de cenas com níveis de estímulos inicialmente partindo de um cenário indutor de ansiedade excepcionalmente baixo e aumentando esse estímulo gradualmente nas situações apresentadas, de acordo com o que é colocado por Zainab et al. (2023). Outra evolução, a ser implementada no sistema PhobIA 3DS, seria a adição de uma tela de configurações, permitindo que o profissional altere os parâmetros da sessão como: frequência cardíaca limítrofe e faixas de frequência cardíaca utilizadas. Uma possível utilização do sistema PhobIA 3DS, além do apoio no tratamento das fobias específicas, seria sua aplicação em programas de treinamento de profissionais que tenham que executar tarefas que necessitem de um maior controle do nível de ansiedade durante sua execução.

REFERÊNCIAS

- 360 VACATION VR . *Wild Water Roller Coaster POV SBS 3D VR video for Google Cardboard not 360*. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kDxMz1NiMIIt=11s>. Acesso em: 11 de junho de 2023.
- 3D 'N' PLAY. *3D Roller Coaster 13 VR Videos 3D SBS [VR Cardboard Experience] montanha russa realidade virtual*. 2022. Disponível em: <https://https://www.youtube.com/watch?v=Gy-l3hq-pnA>. Acesso em: 11 de abril de 2019.
- ABAR, C. O conceito fuzzy. *Pontifícia Universidade Católica de São Paulo*, p. 2179–0302, 2004.
- ABNT. *ABNT. NBR ISO 9241-11: ergonomia da interação humano-sistema – Parte 11: usabilidade: definições e conceitos. 2.ed.* 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/30395/identificar/visitante>. Acesso em: 20 de junho de 2023.
- ALJABRI, A. et al. Overcoming speech anxiety using virtual reality with voice and heart rate analysis. In: *IEEE. 2020 13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. [S.l.], 2020. p. 311–316.
- ALLEN, J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological Measurement*, v. 28, p. R1–39, 04 2007.
- ALVES. *eFLL - Uma Biblioteca Fuzzy para Arduino e Sistemas Embarcados*. 2012. Disponível em: <https://blog.zerokol.com/2012/09/arduinofuzzy-uma-biblioteca-fuzzy-para.html>. Acesso em: 05 de abril de 2023.
- ARDUINO. 2021. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>. Acessado em 27/09/2021.
- ARDUINO STORE. *Arduino Nano 33 BLE Sense*. 2021. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble-sense/>. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.
- ÁVILA, A. L.; SPÍNOLA, R. O. Introdução à engenharia de requisitos. *Engenharia de software Magazine*, p. 46–52, 2007.
- BABIUCH, M.; FOLTÝNEK, P.; SMUTNÝ, P. Using the esp32 microcontroller for data processing. In: *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6.
- BALBIN, J. R. et al. Development of scientific system for assessment of post-traumatic stress disorder patients using physiological sensors and feature extraction for emotional state analysis. In: *IEEE. 2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.

BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Taylor Francis, v. 24, n. 6, p. 574–594, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10447310802205776>>.

BANULEASA, S. et al. Iot system for monitoring vital signs of elderly population. In: IEEE. *2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*. [S.l.], 2016. p. 059–064.

BLAZEWICZ, J. et al. *Handbook on parallel and distributed processing*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

BLOK, S. et al. The accuracy of heartbeat detection using photoplethysmography technology in cardiac patients. *Journal of Electrocardiology*, v. 67, p. 148–157, 2021. ISSN 0022-0736. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022073621001291>>.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. Uml: Guia do usuário. 2^a edição. *Rio de Janeiro: Campus*, 2005.

BORA, P. et al. Smart real time health monitoring system using arduino and raspberry pi. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, v. 46, p. 3855–3859, 2021.

BOTELLA, C. et al. Clinically significant virtual environments for the treatment of panic disorder and agoraphobia. *CyberPsychology & Behavior*, Mary Ann Liebert Inc, v. 7, n. 5, p. 527–535, out. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/cpb.2004.7.527>>.

BREITMAN, K. K.; LEITE, J. Evolução de cenários. *Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ*, p. 162, 2000.

CASA DO DESENVOLVEDOR. *Introdução ao Kodular*. 2022. Disponível em: <https://blog.casadodesenvolvedor.com.br/>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

CHANDRA, A. N. R.; JAMIY, F. E.; REZA, H. A systematic survey on cybersickness in virtual environments. *Computers*, MDPI, v. 11, n. 4, p. 51, 2022.

COELHO, V. A.; PATTO, V. S. Simulação de mapa de estresse de sala de aula. In: SBC. *Anais da VII Escola Regional de Informática de Goiás*. [S.l.], 2019. p. 47–60.

CONS, B.; COSTA, R. M. E. da. Ambiente virtual para tratamento de ansiedade oriunda de traumas usando dessensibilização e reprocessamento por movimentos oculares. In: SBC. *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*. [S.l.], 2022. p. 44–49.

CORREIA, B. et al. Validation of a wireless bluetooth photoplethysmography sensor used on the earlobe for monitoring heart rate variability features during a stress-inducing mental task in healthy individuals. *Sensors*, v. 20, n. 14, 2020. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/14/3905>>.

COUTO, A. F. M. Sistema de monitoramento de parâmetros fisiológicos e ambientais utilizando rede mesh. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021.

- DIRIN, A. User experience of mobile virtual reality: Experiment on changes in students' attitudes. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, ERIC, v. 19, n. 3, p. 80–93, 2020.
- DMS-V. *Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais DMS-V*. [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 978-85-8271-089-0.
- EBERT, C.; SALECKER, J. Embedded software—technologies and trends. *IEEE software*, v. 26, n. 3, p. 14–18, 2009.
- EISENSTEIN, J. *Introduction to natural language processing*. [S.l.]: MIT press, 2018.
- ERGAN, S. et al. Quantifying human experience in architectural spaces with integrated virtual reality and body sensor networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 33, n. 2, p. 04018062, 2019.
- ESPRESSIF. *Esp32*. 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/>. Acesso em: 17 de novembro de 2022.
- FERRANDEZ, D. et al. Arduino based monitoring system for materials used in façade rehabilitation- experimental study with lime mortars. *Case Studies in Construction Materials*, Elsevier, v. 16, p. e00985, 2022.
- FLUXO CONSULTORIA. *Prototipagem eletrônica: descubra como o Arduino e o Raspberry Pi podem facilitar sua vida*. 2019. Disponível em: <<https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/prototipagem-eletronica-arduino-e-raspberry-pi/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.
- FRANCH, X. et al. The i* framework for goal-oriented modeling. *Domain-Specific Conceptual Modeling: Concepts, Methods and Tools*, Springer, p. 485–506, 2016.
- GARCIA. *Introdução aos sistemas embarcados e microcontroladores*. 2018. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/sistemas-embarcados-e-microcontroladores/>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.
- GIRARDI, R. Engenharia de software baseada em agentes. In: SN. *Procedimentos do IV Congresso Brasileiro de Ciência da Computação (CBComp 2004)*. [S.l.], 2004.
- GNACEK, M. et al. Heart rate detection from the supratrochlear vessels using a virtual reality headset integrated ppg sensor. In: *Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. (ICMI '20 Companion), p. 210–214. ISBN 9781450380027.
- GRADL, S. et al. Visualization of heart activity in virtual reality: A biofeedback application using wearable sensors. In: IEEE. *2018 IEEE 15th international conference on wearable and implantable body sensor networks (BSN)*. [S.l.], 2018. p. 152–155.
- GREEN, B. F. et al. Baseball. In: . ACM Press, 1961. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1460690.1460714>>.
- ILIN, I. et al. Critical factors and challenges of healthcare digital transformation. In: *Digital Transformation and the World Economy: Critical Factors and Sector-Focused Mathematical Models*. [S.l.]: Springer, 2022. p. 205–220.

JURAFSKY, D.; MARTIN, J. H. *Speech and Language Processing (2Nd Edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2009. ISBN 0131873210.

KAUR, P.; KUMAR, R.; KUMAR, M. A healthcare monitoring system using random forest and internet of things (iot). *Multimedia Tools and Applications*, Springer, v. 78, p. 19905–19916, 2019.

KODULAR. *Kodular*. 2023. Disponível em: <https://https://www.kodular.io/>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

KOSONOGOV, V. et al. Review of psychophysiological and psychotherapeutic studies of stress using virtual reality technologies. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, Springer, p. 1–11, 2023.

KOTHGASSNER, O. D. et al. Virtual reality biofeedback interventions for treating anxiety: A systematic review, meta-analysis and future perspective. *Wiener klinische Wochenschrift*, Springer, p. 1–11, 2022.

KUGLER, L. The state of virtual reality hardware. *Commun. ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 64, n. 2, p. 15–16, jan 2021. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3441290>>.

MAES, P. Artificial life meets entertainment: lifelike autonomous agents. *Communications of the ACM*, ACM New York, NY, USA, v. 38, n. 11, p. 108–114, 1995.

MAHAJAN, P.; KAUL, A. Arduino based portable ecg and ppg signal acquisition system. In: IEEE. *2022 10th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology-Signal and Information Processing (ICETET-SIP-22)*. [S.l.], 2022. p. 1–6.

MAMDANI, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE transactions on computers*, IEEE Computer Society, v. 26, n. 12, p. 1182–1191, 1977.

MARRO, A. A. et al. Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. *Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)*, p. 2, 2010.

MARTINS, V. B. et al. Comunicação entre agentes de software especialistas em doenças cardíacas. *Journal of Health Informatics*, v. 12, n. 3, 2020.

MARTOS, P. I.; GARRIDO, A. Software patterns for asymmetric multiprocessing devices on embedded systems: a performance assessment. In: *2017 Eight Argentine Symposium and Conference on Embedded Systems (CASE)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6.

MCLEOD, SAUL . *Likert Scale Questionnaire: Examples Analysis*. 2018. Disponível em: <https://www.simplypsychology.org/likert-scale.html>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

MEDPREV. *FREQUÊNCIA CARDÍACA: COMO MEDIR OS BATIMENTOS*. 2022. Disponível em: <https://medprev.online/blog/saude/frequencia-cardiaca/>. Acesso em: 11 de abril de 2023.

MICHAEL BURMESTER. *AttrackDiff Questionnaire*. 2023. Disponível em: https://www.kompetenzzentrum-usability.digital/kos/WNetz?art=File.downloadid=1296name=AttrakDiff_E_NUID.pdf. Acesso em : 20dejunhode2023.

- MILOSEVIC, I.; MCCABE, R. E. *Phobias: The psychology of irrational fear: The psychology of irrational fear*. [S.l.]: Abc-Clio, 2015.
- MISHRA, D. et al. Automated irrigation system-iot based approach. In: IEEE. *2018 3rd International conference on internet of things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*. [S.l.], 2018. p. 1–4.
- MOLITOR, D. P. *Physician behavior and technology diffusion in health care*. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, 2012.
- MOYA, L. J.; TOLK, A. Towards a taxonomy of agents and multi-agent systems. In: *SpringSim (2)*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 11–18.
- MURATORI, J. R.; BÓ, P. H. D. Capítulo i automação residencial: histórico, definições e conceitos. *O Setor elétrico*, p. 70–77, 2011.
- MUÑOZ, J. E. et al. Physiovr: A novel mobile virtual reality framework for physiological computing. In: *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.
- NANDAKUMAR, A. et al. Pathways of health technology diffusion: the united states and low-income countries. *Health Affairs*, Project HOPE-The People-to-People Health Foundation, Inc., v. 28, n. 4, p. 986–995, 2009.
- NAQVI, S. et al. Fuzzy logic enabled stress detection using physiological signals. In: SPRINGER. *International Conference for Emerging Technologies in Computing*. [S.l.], 2021. p. 161–173.
- NETO, C. D. N. et al. Inteligência artificial e novas tecnologias em saúde: desafios e perspectivas. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 2, p. 9431–9445, 2020.
- NIELSEN, J. *Why you only need to test with 5 users*. [S.l.]: Useit. com Alertbox, 2000.
- NOVAES, H. M. D.; SOÁREZ, P. C. D. A avaliação das tecnologias em saúde: origem, desenvolvimento e desafios atuais. panorama internacional e brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 36, p. e00006820, 2020.
- NUGRAHA, I. D. Efficacy of virtual reality exposure therapy for post-traumatic stress disorder: A systematic review. OSF Preprints, 2021.
- OLIVEIRA, F. M. et al. Arvet and saptept: A virtual environment and a system supported by fuzzy logic in virtual reality exposure therapy for ptsd patients. In: IEEE. *2012 12th International Conference on Computational Science and Its Applications*. [S.l.], 2012. p. 103–107.
- OTTER, D. W.; MEDINA, J. R.; KALITA, J. K. A survey of the usages of deep learning for natural language processing. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, IEEE, v. 32, n. 2, p. 604–624, 2020.
- OZSAHIN, D. U. et al. Fuzzy logic in medicine. In: *Biomedical Signal Processing and Artificial Intelligence in Healthcare*. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 153–182.

PASCUCCI, S. et al. Exergaming in mixed reality for the rehabilitation of ataxic patients. In: IEEE. *2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. [S.l.], 2022. p. 1–5.

PEREIRA, J. S.; FAÉDA, L. M.; COELHO, A. M. Evolution of vret to assist in the treatment of phobias: a systematic review. In: IEEE. *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. [S.l.], 2020. p. 386–390.

PERSONALITY PROBE. *Emotional Stability Test*. 2023. Disponível em: <https://personalityprobe.com/test/big-5/emotional-stability-trait>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

PHUOC, P.; TUY, T. et al. Research control for ankle joint rehabilitation device. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, v. 16, n. 1, p. 8743–8753, 2022.

PORCINO, T.; TREVISAN, D.; CLUA, E. A cybersickness review: causes, strategies, and classification methods. *Journal on Interactive Systems*, v. 12, n. 1, p. 269–282, 2021.

PULSE SENSOR. *Pulse Sensor*. 2022. Disponível em: <https://pulsesensor.com/>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

QURESHI, K. N. et al. A secure data parallel processing based embedded system for internet of things computer vision using field programmable gate array devices. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Wiley Online Library, v. 49, n. 5, p. 1450–1469, 2021.

RAZA, A. et al. A home automation through android mobile app by using arduino uno. In: IEEE. *2020 IEEE 23rd International Multitopic Conference (INMIC)*. [S.l.], 2020. p. 1–6.

REIS. *Introdução aos Sistemas Embarcados*. 2015. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/eletronica-geral/introducao-aos-sistemas-embarcados/>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

RGHIOUI, A.; OUMNAD, A. Challenges and opportunities of internet of things in healthcare. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, v. 8, n. 5, 2018.

RIGNEL, DIEGO; CHENCI, GABRIEL; LUCAS, CARLOS. *Rignel*. 2011. Disponível em: <http://www.logicafuzzy.com.br/>. Acesso em: 24 de março de 2023.

RIVA, G. Virtual reality in psychotherapy: Review. *CyberPsychology & Behavior*, Mary Ann Liebert Inc, v. 8, n. 3, p. 220–230, jun. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.220>>.

ROBERTSON, D. A. An introduction to multi-agent systems by michael wooldridge. v. 7, 2004.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. [S.l.]: Pearson Education Limited, 2016.

SADOCK, B. J.; SADOCK, V. A.; RUIZ, P. *Compêndio de Psiquiatria-: Ciência do Comportamento e Psiquiatria Clínica*. [S.l.]: Artmed Editora, 2017.

SALGADO, D. P. et al. A que assessment method based on eda, heart rate and eeg of a virtual reality assistive technology system. In: *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. (MMSys '18), p. 517–520. ISBN 9781450351928. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3204949.3208118>>.

SALKEVICIUS, J.; MISKINYTE, A.; NAVICKAS, L. Cloud based virtual reality exposure therapy service for public speaking anxiety. *Information*, v. 10, p. 62, 02 2019.

SAS. *Processamento de Linguagem Natural*. 2021. Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/processamento-de-linguagem-natural.html/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

S GAMING VR . *VR - HP Reverb G2 - Flight Simulator - Having fun in New York - Virtual Reality - RTX 4090*. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HvJKq2tPOts>. Acesso em: 11 de junho de 2023.

SHEHORY, O.; STURM, A. A brief introduction to agents. *Agent-Oriented Software Engineering: Reflections on Architectures, Methodologies, Languages, and Frameworks*, Springer, p. 3–11, 2014.

SICHIRAY TECH. *Sichiray Tech. Co. Ltd.* 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

SILVA, F. R. da et al. Desenvolvimento de plataforma embarcada para ensino. *Research, Society and Development*, Grupo de Pesquisa Metodologias em Ensino e Aprendizagem em Ciências, v. 8, n. 4, p. e2084757, 2019.

STUDIO PIETERS. *Studio Pieters*. 2022. Disponível em: <https://www.studiopieters.nl/esp32-pinou>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

STUTZEL, M. C. et al. Multi-part quality evaluation of a customized mobile application for monitoring elderly patients with functional loss and helping caregivers. *BMC medical informatics and decision making*, BioMed Central, v. 19, n. 1, p. 1–18, 2019.

SUTHERLAND, I. E. Sketch pad a man-machine graphical communication system. In: *DAC*. [S.l.]: ACM, 1964.

TANSCHHEIT, R. *Sistemas fuzzy*. 01 2004.

THAKARE, V.; KHIRE, G.; KUMBHAR, M. Artificial intelligence (ai) and internet of things (iot) in healthcare: Opportunities and challenges. *ECS Transactions*, IOP Publishing, v. 107, n. 1, p. 7941, 2022.

THIEBES, S.; LINS, S.; SUNYAEV, A. Trustworthy artificial intelligence. *Electronic Markets*, Springer, v. 31, n. 2, p. 447–464, 2021.

TIAN, N.; LOPES, P.; BOULIC, R. A review of cybersickness in head-mounted displays: raising attention to individual susceptibility. *Virtual Reality*, Springer, v. 26, n. 4, p. 1409–1441, 2022.

- TIAN, S. et al. Smart healthcare: making medical care more intelligent. *Global Health Journal*, Elsevier, v. 3, n. 3, p. 62–65, 2019.
- TORI, R.; HOUNSELL, M. d. S. *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Editora SBC, 2018.
- TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. *Mind*, Oxford University Press on behalf of the Mind Association, v. 59, n. 236, p. 433–460, 1950.
- UNREAL ENGINE. *Unreal Engine*. 2022. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/pt-BR>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.
- USAINFO. *Shield V3*. 2022. Disponível em: <https://www.usainfo.com.br/>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.
- USP CCSL. *Não sabe o que é Hardware Livre? Venha descobrir no CCSL!* 2021. Disponível em: <http://ccsl.ime.usp.br/pt-br/noticias/2014/02/nao-sabe-que-e-hardware-livre-venha-descobrir-no-ccsl/>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.
- VINUTO, J. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. *Temáticas*, v. 22, n. 44, p. 203–220, 2014.
- WITTE, N. D. et al. Comparing dual-core smp/amp performance on a telecom architecture. *Annual Journal of electronics*, Technical Univ. of Sofia, v. 7, p. 72–75, 2013.
- WOLPE, J. *The practice of behavior therapy*. [S.l.]: Pergamon press, 1990.
- YU, E. Modeling strategic relationships for process reengineering. *Social Modeling for Requirements Engineering*, v. 11, n. 2011, p. 66–87, 2011.
- ZADEH, L. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965. ISSN 0019-9958. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>.
- ZAINAB, e. H. et al. Design and development of virtual reality exposure therapy systems: requirements, challenges and solutions. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, p. 1–24, 2023.
- ÓCULOS VR WARRIOR. *Óculos VR Warrior*. 2022. Disponível em: <https://www.multilaser.com.br/>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) a participar, como voluntário (a), da pesquisa intitulada “Sistema 3D multiagente de baixo custo para tratamento de fobias em tempo real com lógica difusa embarcada”, conduzida por Claudio Henrique Medaber Jambo e Rosa Maria Moreira Esteves Costa, pesquisadores do IME- UERJ. Esta pesquisa tem por objetivo desenvolver e avaliar a interface, a relevância e a usabilidade de um protótipo de um sistema de baixo custo, que apresenta cenários 2D ou 3D em um smartphone acoplado a um capacete de suporte, que visa dessensibilizar traumas em pessoas que sofrem de fobias.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em utilizar o equipamento imersivo e visualizar cenas com diferentes graus de estímulos para dessensibilizar medos específicos, ter seus sinais de pulsação capturados e responder qual é o seu nível de ansiedade durante o uso do equipamento. A apresentação das cenas pode sofrer alterações em tempo real. A apresentação das cenas considera a combinação dos batimentos cardíacos com a sua resposta do nível de ansiedade, variando de 0 até 10 (pouco nível de ansiedade até máximo nível de ansiedade). No final do experimento, você irá preencher um formulário informando se sentiu algum desconforto durante o experimento, vai avaliar a qualidade da interface, a usabilidade e a relevância do sistema.

Você foi selecionado (a) para participar desta avaliação porque é psicólogo ou psiquiatra. Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento, abandonando a experiência imersiva e o preenchimento do questionário. Sua recusa, desistência, ou retirada de consentimento não acarretará prejuízo. Se você já teve problemas de equilíbrio, labirintite ou já tenha passado mal ao usar um equipamento imersivo, você não deve participar da pesquisa.

A pesquisa apresenta riscos de ocorrência de enjoos ou tonteados durante ou logo após o uso do sistema, que em geral, cessam após o uso. Para evitar riscos de quedas, os participantes devem estar sentados. Se o participante sentir algum desconforto, será oferecida assistência psicológica. O benefício do sistema é oferecer um produto customizável, com variadas opções de abordagens e para vários tipos de fobias, com baixo custo, tornando mais acessível o uso de novas tecnologias neste tipo de tratamento.

Sua participação não é remunerada e nem implicará em gastos para você. Caso se sinta prejudicado, você tem direito de ser indenizado por danos decorrentes da pesquisa, nos termos da lei e de ser ressarcido de despesas decorrentes da participação na pesquisa, de acordo com os itens VI e VII do artigo 9o, do Cap. III, da Resolução 510/2016.

Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo de sua participação. Neste caso, os pesquisadores se comprometem a tornar públicos nos meios acadêmicos e científicos os resultados obtidos de forma consolidada, sem qualquer identificação de indivíduos, ou instituições participantes.

Caso você concorde em participar desta pesquisa, assinale ao final deste documento, que possui duas vias, sendo uma delas sua e a outra, do pesquisador responsável/coordenador da pesquisa. Seguem os telefones e o endereço institucional do pesquisador responsável e do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, onde você poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação nele, agora ou a qualquer momento.

Contatos dos pesquisadores responsáveis: Rosa Maria E. M. da Costa, telefone (21)

98125-6905, email: rcosta@ime.uerj.br, Claudio Henrique Medaber Jambo, e-mail: claudiojambo@gmail.com. Caso você tenha dificuldade em entrar em contato com os pesquisadores responsáveis, comunique o fato à Comissão de Ética em Pesquisa da UERJ: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 3018, bloco E, 3º andar, - Maracanã - Rio de Janeiro, RJ, e-mail: coep@sr2.uerj.br - Telefone: (021) 2334-2180. O CEP COEP é responsável por garantir a proteção dos participantes de pesquisa e funciona às segundas, quartas e sextas-feiras, de 10h às 12h e 14h às 16h.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa, e que concordo em participar.

Assinatura do (a) participante: _____

Assinatura do pesquisador: _____

APÊNDICE B - Questionário para avaliar o protótipo do Sistema 3D multi-agente de baixo custo para tratamento de fobias em tempo real com lógica difusa embarcada

Dados Gerais

1) Qual sua faixa etária?

- 20 a 30 anos
- 31 a 40 anos
- 41 a 50 anos
- 51 a 60 anos
- Mais de 60 anos

2) Há quanto tempo você trabalha na área de terapia comportamental?

- 1 a 5 anos
- 6 a 10 anos
- 10 a 15 anos
- Mais de 15 anos
- Não trabalho com a abordagem comportamental

3) Você trabalha em que tipo de instituição?

- particular
- pública

4) Qual é o seu nível de experiência pessoal no uso de tecnologias computacionais e de comunicação?

- Muito experiente, já utilizei várias tecnologias avançadas, inclusive de Realidade Virtual e de Telessaúde
- Média experiência, uso e-mail, redes sociais, jogos, aulas online
- Baixa experiência, somente visualizo conteúdos das redes sociais e uso e-mail
- Não uso redes sociais, nem jogos

5) Você usa tecnologias computacionais e de comunicação na sua prática de trabalho com seus pacientes ?

- Já utilizei Realidade Virtual
- Realizo consultas ou sessões por teleatendimento
- Me comunico com os pacientes usando redes sociais
- Não uso as novas tecnologias na minha prática de trabalho

Questões Relativas a experiência com o sistema Phobia 3DS

Após utilizar o ambiente virtual, responda seu nível de concordância com as questões, de acordo com os valores descritos a seguir:

Índice de Concordância	Respostas
0	Discordo totalmente
1	Discordo
2	Sem opinião
3	Concordo
4	Concordo totalmente

Instrumento de avaliação da relevância do sistema

Item de avaliação	Índice de concordância
1- O sistema tem o potencial de diminuir o nível de estresse dos pacientes.	0 1 2 3 4
2- É uma ferramenta relevante para a sociedade.	0 1 2 3 4
3- O sistema pode servir como complemento a uma terapia tradicional	0 1 2 3 4
4- O uso do sistema facilitaria a dessensibilização de fobias específicas	0 1 2 3 4

Instrumento de avaliação da interface do sistema

Itens de avaliação	Índice de concordância
1. A fala do terapeuta virtual é clara e facilmente compreensível.	0 1 2 3 4
2. As cenas apresentadas são adequadas aos objetivos do sistema.	0 1 2 3 4
3. A forma de comunicação por voz é simples e eficaz.	0 1 2 3 4
4. A interface do módulo do terapeuta contempla itens importantes para o controle da evolução do paciente.	0 1 2 3 4
5. Houve atrasos na apresentação das cenas.	0 1 2 3 4
6. A dinâmica da interação com o sistema é eficiente.	0 1 2 3 4
7. Me senti bem utilizando o sistema, sem tonteiras ou náuseas.	0 1 2 3 4

Instrumento de avaliação da usabilidade do sistema - SUS

Item de avaliação	Índice de concordância
1- Eu gostaria de usar o Phobia 3DS com frequência	0 1 2 3 4
2- Eu acho o Phobia 3DS desnecessariamente complexo	0 1 2 3 4
3- Eu achei que o Phobia 3DS é fácil de usar	0 1 2 3 4
4- Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o Phobia 3DS	0 1 2 3 4
5- Eu acho que as várias funções do Phobia 3DS estão muito bem integradas	0 1 2 3 4
6- Eu acho que o Phobia 3DS apresenta muitas inconsistências	0 1 2 3 4
7- Eu acho que as pessoas aprenderão a usar esse sistema rapidamente	0 1 2 3 4
8- Eu achei o Phobia 3DS complicado de usar	0 1 2 3 4
9- Eu me senti confiante em usar o Phobia 3DS	0 1 2 3 4
10- Eu tive que aprender várias coisas novas para usar o Phobia 3DS	0 1 2 3 4

Sugestões para a melhoria do sistema: _____

