

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



YURI RISSI NEGRI

**DESENVOLVIMENTO DE JOGO SÉRIO APLICADO AO
ROBÔ MARIA T21 PARA A MELHORIA DE CONTATO
VISUAL E DA ATENÇÃO EM CRIANÇAS COM
TRANSTORNO DO ESPECTRO AUTISTA**

VITÓRIA-ES

JULHO/2023

Yuri Rissi Negri

**DESENVOLVIMENTO DE JOGO SÉRIO APLICADO AO
ROBÔ MARIA T21 PARA A MELHORIA DE CONTATO
VISUAL E DA ATENÇÃO EM CRIANÇAS COM
TRANSTORNO DO ESPECTRO AUTISTA**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Yuri Rissi Negri, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

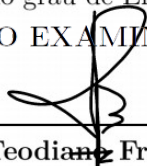
Vitória-ES

Julho/2023

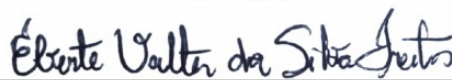
Yuri Rissi Negri

DESENVOLVIMENTO DE JOGO SÉRIO APLICADO AO ROBÔ MARIA T21 PARA A MELHORIA DE CONTATO VISUAL E DA ATENÇÃO EM CRIANÇAS COM TRANSTORNO DO ESPECTRO AUTISTA

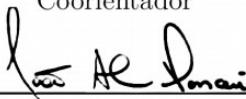
Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Yuri Rissi Negri, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista. Aprovado em 19 de julho de 2023. COMISSÃO EXAMINADORA:



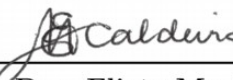
Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



MSc. Éberte Valter da Silva Freitas
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador



Prof. Me. João Antônio Campos Panceri
Instituto Federal do Espírito Santo -
Linhares
Examinador



Profa. Dra. Eliete Maria de Oliveira Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Vitória-ES

Julho/2023

RESUMO

A atenção compartilhada e o contato visual em interações sociais são habilidades que podem vir a não se desenvolver de forma satisfatória em crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA), levando muitas vezes ao comprometimento de outras áreas durante a juventude e a vida adulta. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um Jogo Sérioso (JS) chamado Goblin Gold, a partir do conceito de interação criança-robô, para o exercício e desenvolvimento dessas habilidades. O JS é totalmente controlado pela visão. O jogador defende um objetivo central na tela dos inimigos ao redor, eliminando-os ao fixar o olhar em cada um por um tempo determinado. O JS é totalmente interativo, e utiliza informações dos sensores e câmeras presentes no Robô Socialmente Assistivo (RSA) desenvolvido na Universidade Federal do Espírito Santo chamado de MARIA T21 (*Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics and Trisomy 21*). O jogo utiliza câmeras para captar as interações e, por meio de processamento de imagem, estima a posição da íris do jogador, o que afeta diretamente a jogabilidade. Para tanto, foi utilizado o Unity 3D integrado ao *framework* de *Machine Learning* MediaPipe com a biblioteca Face Mesh para estimar a posição da cabeça e íris. Os testes foram realizados na Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAIE) de Vitória/ES durante seis semanas com oito crianças diagnosticadas com autismo que incluíam os quadros leve, leve moderado, moderado, e moderado severo. O uso do Unity no desenvolvimento do JS Goblin Gold foi altamente benéfico, oferecendo flexibilidade e ferramentas para criar um ambiente imersivo e estimular habilidades importantes nas crianças com autismo. A utilização do Face Mesh para detecção do foco ocular permitiu uma adaptação personalizada do jogo. No entanto, é importante reconhecer as limitações, como interferência de estereotípias e falta de interesse em alguns participantes. Os resultados variaram entre as crianças, destacando a importância de abordagens personalizadas. Para melhorar o campo visual lateral, podem ser desenvolvidas atividades específicas e implementado um sistema de realimentação mais claro. A colaboração com profissionais especializados em autismo é essencial para aprimorar o jogo e atender às necessidades das crianças.

Palavras-chave: Robótica Socialmente Assistiva; Jogos Sérios; Transtorno do Espectro Autista.

ABSTRACT

Shared attention and eye contact in social interactions are skills that may not develop satisfactorily in children with Autism Spectrum Disorder (ASD), often leading to impairment in other areas during youth and adulthood. This work describes the development of a Serious Game (SG) called Goblin Gold, based on the child-robot interaction concept, to exercise and enhance these abilities. The SG is entirely controlled by vision. Players defend a central goal on the screen from surrounding enemies by fixing their gaze on each one for a specified duration. The SG is fully interactive and utilizes information from sensors and cameras integrated into the Socially Assistive Robot (SAR) developed at the Federal University of Espírito Santo, named MARIA T21 (Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics and Trisomy 21). The game employs cameras to capture interactions and, through image processing, estimates the player's iris position, directly influencing gameplay. Tests were conducted at the Association of Parents and Friends of Exceptional People (APAE) in Vitória, ES, over six weeks with eight children diagnosed with autism, ranging from mild to severe. The use of Unity 3D in the development of the Goblin Gold SG was highly beneficial, offering flexibility and creative power to create an immersive environment and stimulate important skills in children with autism. The utilization of the Face Mesh library for eye gaze detection allowed for personalized adaptation of the game. However, it is important to recognize limitations such as interference from stereotypic behaviors and lack of interest in some participants. Results varied among the children, highlighting the importance of personalized approaches. To improve the lateral visual field, specific activities can be developed, and a clearer feedback system can be implemented. Collaboration with professionals specialized in autism is essential to enhance the game and meet the needs of the children.

Keywords: Social Assistive Robot; Serious Game; Autism Spectrum Disorder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Robô MARIA T21 interagindo com crianças	17
Figura 2 – Robô MARIA T21 - Ambiente de interação	17
Figura 3 – Sistemas embarcados MARIA T21	18
Figura 4 – Face Mesh (GOOGLE, 2022)	20
Figura 5 – Detecção de íris com Face Mesh (GOOGLE, 2022)	20
Figura 6 – Imagem conceitual - Jogabilidade	22
Figura 7 – Protótipo do jogo	24
Figura 8 – Implementação gráfica do cenário	25
Figura 9 – Primeira versão funcional	26
Figura 10 – Tipos de inimigos	30
Figura 11 – Finalização de nível com fogos comemorativos	36
Figura 12 – Menu principal do jogo	36
Figura 13 – Ângulos de <i>Pitch</i> , <i>Yaw</i> e <i>Roll</i> da cabeça (JANTUNEN et al., 2016)	37
Figura 14 – Transformação de pontos no espaço 3D para pontos na imagem 2D(MÜLLER, 2020)	38
Figura 15 – Estimativa de Movimentação das Pupilas	39
Figura 16 – Desenvolvedor realizando testes de reconhecimento facial	40
Figura 17 – Desenvolvedor realizando testes de jogabilidade	41
Figura 18 – Criança realizando teste	43
Figura 19 – Nível de calibração	44
Figura 20 – Versão final do jogo	45
Figura 21 – Crianças realizando o experimento	46
Figura 22 – Desempenho médio de K1 por fase e modularizações de vida e velocidade	48
Figura 23 – Desempenho médio de K2 por fase e modularizações de vida e velocidade	49
Figura 24 – Desempenho médio de K3 por fase e modularizações de vida e velocidade	49
Figura 25 – Desempenho médio de K4 por fase e modularizações de vida e velocidade	50
Figura 26 – Desempenho médio de K5 por fase e modularizações de vida e velocidade	51
Figura 27 – Desempenho médio de K6 por fase e modularizações de vida e velocidade	51
Figura 28 – Valores de pontuação nas sessões de coleta de dados	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis globais	27
Tabela 2 – Atributos dos inimigos	29
Tabela 3 – Perfil dos participantes	46
Tabela 4 – Distância de reconhecimento	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TEA	Transtorno do Espectro Autista
RA	Robótica Assistiva
JS	Jogos Sérios
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
RSA	Robótica Socialmente Assistiva
ICR	Interação Criança-Robô
DSM	Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais
TDAH	Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade
IHR	Interação Humano Robô
RSI	Robótica Socialmente Interativa
CBEB	Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Apresentação	10
1.2	Trabalhos Relacionados	11
1.3	Objetivos	12
1.4	Estrutura do Texto	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Transtorno do Espectro Autista	14
2.2	Jogos Sérios	15
2.3	Robótica Socialmente Assistiva	16
2.4	MARIA T21	16
2.5	Unity 3D	19
2.6	MediaPipe	19
2.6.1	Face Mesh	19
3	METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	21
3.1	Metodologia Adotada	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1	Goblin Gold	22
4.1.1	Projeto Conceitual	22
4.1.2	Protótipo e interface	23
4.1.3	Modularização	25
4.1.3.1	Variáveis Globais	27
4.1.3.2	Inimigos	28
4.1.3.3	Níveis de jogo	30
4.1.4	Pontuação	34
4.2	Desenvolvimento do Monitoramento Facial	35
4.2.1	Estimativa da Pose da Cabeça	37
4.2.2	Estimativa de Movimentação das Pupilas	39
4.3	Avaliação	39
4.3.1	Testes de integração do controle ocular	40
4.3.2	Testes de aceitação pelos usuários finais	42
4.3.3	Conclusão	44
4.4	Validação	45
4.4.1	Participantes	45

4.4.2	Resultados	46
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Ao longo dos anos, o Transtorno do Espectro Autista (TEA) obteve maior visibilidade nas mídias e na comunidade científica, levando a um maior entendimento sobre o autismo e como esse influencia diretamente na vida de muitos indivíduos (ALPER, 2021). Com novos métodos de diagnóstico mais inclusivos e com maior número de estudos, descobriu-se que o TEA é mais comum do que se pensava (quase dez vezes mais comum do que a Síndrome de Down) e reforçou-se a importância do acompanhamento das crianças afetadas desde os primeiros anos de vida (GLENNON et al., 2020).

Habilidades sociais costumam ser as mais prejudicadas e são perceptíveis em crianças autistas logo cedo (BARNETT, 2018). Dificuldade de reconhecer emoções e expressões faciais, compreender figuras de linguagem e manter contato visual são alguns dos estereótipos mais famosos. Além disso, muitos são os aspectos que podem influenciar diretamente na atenção de uma criança ao realizar determinada tarefa. Contudo, quando se trata de crianças inseridas no espectro autista, características como hipersensibilidade podem ser de caráter decisivo, uma vez que estímulos do dia-a-dia que possam passar despercebidos para pessoas neuro típicas, isto é, que não se inserem no espectro, podem ter um impacto muito grande no que se refere ao desconforto da criança, e por consequência, na sua atenção a determinada tarefa. Quando se alinha esse pensamento a tarefas essenciais para o desenvolvimento da criança, como ir à escola, fica evidente a importância de se tomar medidas preventivas para auxiliar a criança durante seu desenvolvimento. Neste contexto, com o crescente uso da Robótica Assistiva (RA) para terapia e acompanhamento de crianças com algum tipo de deficiência, surge esta proposta de desenvolver um Jogo Sérioso (JS) que vise ampliar e fortalecer tais habilidades ao mesmo tempo que seja uma atividade de descontração e lazer (LORD et al., 2020; LORD et al., 2018).

Este trabalho descreve o desenvolvimento e testes de um JS integrado ao robô MARIA T21 (*Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistics and Trisomy 21*) (PANCERI et al., 2021) desenvolvido na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), para auxiliar a terapia de crianças com TEA através da Robótica Socialmente Assistiva (RSA), procurando desenvolver principalmente as habilidades de foco, concentração, minimizar estereotípias nos olhos bem como aperfeiçoar habilidades sociais que envolvam contato visual, utilizando-se de processamento de imagem para que a criança possa interagir com o jogo através do olhar. Esta pesquisa foi autorizada pelo Conselho de Ética da UFES sob o protocolo número 1.121.638.

1.2 Trabalhos Relacionados

Muito se tem discutido sobre o aumento de pesquisas alternativas na área de terapia para crianças com TEA, utilizando JS para maior engajamento e efetividade das terapias.

Barajas, Osman e Shirmohammadi (2017) obtiveram dados experimentais de 9 crianças e adolescentes com TEA, entre idades de 6 a 15 anos, submetidas a um JS que utilizava de blocos de montar, no estilo LEGO, atrelados a uma interface gráfica, que resultou em uma melhora na interação social, colaboração nos jogos e uma diminuição no jogo solitário.

Roglić et al. (2016) realizaram um JS baseado na tecnologia comercial Kinect, utilizando de uma estrutura externa apropriada para rastrear as posições das mãos e movimentos de corpo inteiro do jogador, com o intuito de desenvolver habilidades cognitivas, coordenação e reflexos em crianças autistas. Foram realizados testes com duas crianças, a fim de auxiliar terapeutas a avaliar o progresso das crianças de forma quantitativa e objetiva.

Todos os seguintes autores optaram pelo desenvolvimento e proposta de JS que têm como princípio ensinar crianças no espectro a reconhecer expressões faciais e suas emoções associadas. Grossard et al. (2019) utilizaram um estudo de viabilidade com 23 crianças, onde obtiveram significantes resultados, apesar do fato de a coleta de dados ser limitada e do jogo ainda se encontrar na fase beta. Carvalho et al. (2015) desenvolveram a proposta de um livro-jogo (*GameBook*), sendo que sua utilização ficava limitada a aparelhos móveis como celulares e *tablets*. Garcia-Garcia et al. (2019) cobriram algumas deficiências encontradas em propostas similares, contando com um sistema de realimentação em tempo real, onde realizaram a coleta de dados de 3 crianças entre idades de 8 a 10 anos e obtiveram resultados satisfatórios.

Já Elgarf, Abdennadher e Elshahawy (2017) realizaram um estudo sobre a viabilidade da utilização da tecnologia de óculos VR (*Virtual Reality*) em um JS de ambiente virtual. O jogo tinha o intuito de desenvolver especificamente o contato visual nas crianças, sendo que os resultados de uma análise aplicada a uma amostra de 4 crianças levaram a resultados piores em comparação à versão para *desktop*, uma vez que as crianças não se sentiam no controle total, e uma das crianças com baixas habilidades computacionais não conseguiu utilizar o JS.

Este trabalho propõe como diferencial a aplicabilidade de um JS através da RSA, contando com uma interação criança-robô. Sendo assim, o próprio robô é o responsável pela aplicação do JS sem a necessidade de interação humana. Ademais, o próprio robô efetua a coleta de

dados em tempo real durante a execução do jogo, e dispensa a necessidade de preparo prévio do ambiente de execução, uma vez que o JS é projetado no ambiente utilizando um projetor embarcado no MARIA T21.

Nesse contexto, a jogabilidade refere-se ao conjunto de interações, mecânicas e regras que governam a experiência do jogador ao interagir com o robô. Todas as atividades, desafios e ações disponíveis serão monitoradas e controladas pelo sistema operacional do robô. Isso inclui os controles utilizados pelos jogadores para interagirem com o robô, a resposta do robô às ações dos jogadores, o fluxo do jogo, as metas a serem alcançadas e a estrutura da experiência para proporcionar entretenimento e engajamento. Esse monitoramento permite uma adaptação adequada do jogo às necessidades e habilidades individuais dos jogadores, especialmente para crianças com autismo, possibilitando uma experiência mais personalizada e inclusiva.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Este trabalho descreve a proposta de fundamentação, projeto, arquitetura e desenvolvimento de um JS que faz uso dos benefícios da RSA e conceitos de Interação Criança-Robô (ICR) na terapia de crianças com TEA. Sensores embutidos no robô permitem a identificação de movimentos estereotipados de olhos das crianças, sem o uso de dispositivos de contato, para o exercício e aprimoramento de capacidades limitadas de crianças com TEA, tais como contato e atenção visual.

Objetivos Específicos

- Estudar o modelo atual de abordagem de estereotipias do olhar em crianças com TEA e o emprego de JS na terapia dessas crianças em busca de interpolação dos conceitos e melhorias;
- Obter um modelo conceitual de mecânica e projeto do JS para avaliação de profissionais da área da terapia de crianças com TEA;
- Estudar o motor multiplataforma de jogo Unity 3D que utiliza a linguagem de programação *C Sharp* (C#) para criar videogames, movimentos, animações e simulações multiplataforma;

- Estudar o *framework* de aprendizado de máquina MediaPipe para detecção de face e monitoramento de movimentos oculares;
- Implementar o JS;
- Validar e testar o sistema junto a profissionais de saúde da Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) de Vitória, em crianças de 6 a 9 anos com diagnóstico de TEA.

1.4 Estrutura do Texto

O presente trabalho está estruturado da seguinte maneira:

- **Introdução:** este capítulo inicial visa abordar a temática principal deste trabalho e apresentar projetos semelhantes desenvolvidos;
- **Referencial Teórico:** neste capítulo são apresentados conceitos fundamentais para a compreensão deste trabalho, bem como fornecer uma base teórica;
- **Metodologia e Etapas de Desenvolvimento:** este capítulo explicita como se deu o desenvolvimento e divisão do trabalho.
- **Resultados e Discussões:** este capítulo apresenta e discute os resultados do desenvolvimento e avaliação do JS e dos seus testes e validação com crianças com TEA durante seis semanas.
- **Conclusão:** Por fim é feito o arremate do trabalho desenvolvido e das possibilidades de aprimoramento e emprego do JS desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Transtorno do Espectro Autista

O TEA é o termo utilizado para descrever o distúrbio no neurodesenvolvimento que tem como características centrais comportamentos motores-sensoriais repetitivos e déficit na comunicação social, perceptível em muitos casos desde os primeiros anos de vida. Mesmo atualmente, é comum a desinformação sobre o assunto e como esse impacta na vida dos indivíduos, que podem ser bem diferentes um dos outros, apesar de existir registros de como esses comportamentos e dificuldades atraem o interesse da comunidade acadêmica, médicos e cientistas nos últimos 500 anos. Contudo, nas últimas décadas o TEA obteve maior visibilidade, levando a um conhecimento mais aprofundado, tornando-se um tema de discussão mais divulgado ao redor do mundo. O TEA, também conhecido popularmente como autismo, passou de um transtorno com limites de diagnóstico bem definidos para um distúrbio mais abrangente e inclusivo. Antes considerado um distúrbio raro, hoje é reconhecido como bastante comum e heterogêneo (LORD et al., 2020; LORD et al., 2018).

Segundo Maenner et al. (2021) em 2018 cerca de 1 em 44 crianças foram diagnosticadas com TEA nos 11 estados dos Estados Unidos onde a pesquisa foi realizada. Atualmente, a incidência de autismo nos Estados Unidos chega a 1 caso a cada 36 crianças (Autism CRC, 2023). O Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais, em sua quinta edição, conhecido como DSM-5, engloba várias mudanças quando comparados aos critérios de diagnóstico anteriores no que se refere ao TEA. Isso foi resultado do melhor entendimento ao longo dos anos sobre o TEA, onde diagnósticos classificados anteriormente como transtorno autista e Síndrome de Asperger são agora inclusos ao espectro. Dessa maneira, deve-se visualizar que é correto entender que o TEA, como o próprio nome diz, engloba um grupo de transtornos de neurodesenvolvimento em um espectro, que variam entre expressões de sintomas mais leves a severos (LAURITSEN, 2013).

Não existe faixa etária para o diagnóstico, apesar de crianças com TEA expressarem alguns dos sintomas desde os primeiros meses de vida. Déficits sociais e motores já são perceptíveis nos primeiros anos e podem impactar o desenvolvimento de outras áreas. Durante a infância são comuns dificuldades como compartilhar estados emocionais de outros indivíduos, problemas para interagir em grupo e dificuldades em jogos cooperativos. Outros padrões comuns incluem apegos incomuns a objetos, hipersensibilidade, obsessões, compulsões, comportamentos autolesivos e estereotípias (JOHNSON; MYERS; DISABILITIES, 2007).

É importante ressaltar que outras condições psiquiátricas podem apresentar uma relação de coocorrência com o TEA, sendo a mais comum e presente o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) que afeta de diferentes maneiras a vida de muitos indivíduos não necessariamente inseridos no espectro (LORD et al., 2018).

O Modelo Denver de Intervenção Precoce é uma das novas técnicas de terapia direcionadas a terapias de crianças com TEA, a fim de desenvolver habilidades essenciais para o desenvolvimento da criança e minimizar os limitadores de forma lúdica com a utilização de jogos e reforços positivos, buscando fragmentar em etapas pequenas comportamentos e habilidades típicas (VIVANTI et al., 2019).

2.2 Jogos Sérios

O termo JS, traduzido do inglês *Serious Games* (SG), é utilizado para descrever jogos que buscam ir além do entretenimento, tendo objetivos educacionais, de reabilitação e treinamento, por exemplo (SUSI; JOHANNESSON; BACKLUND, 2007). Atualmente, os JS conquistaram uma maior visibilidade e importância na sua utilização para o desenvolvimento dessas áreas, onde pesquisas e projetos demonstram cada vez mais sua eficiência (GLORIA; BELLOTTI; BERTA, 2014; STEGE; LANKVELD; SPRONCK, 2011; HEINS et al., 2017; PANCERI et al., 2021).

Quando aplicados ao contexto do TEA, os JS podem auxiliar o desenvolvimento de crianças inseridas no espectro, de forma a suprir e expandir habilidades sociais e motoras. De fato, a criação de ambientes interativos apresenta resultados positivos no reconhecimento de faces e emoções, linguagem e habilidades sociais (TANAKA et al., 2010). Os JS, no que lhe concerne, devem apresentar desafios que estimulem o aprendizado de novas habilidades, porém, que sejam alcançáveis pela criança de modo a trabalhar com o reforço positivo previsto no modelo Denver (WHYTE; SMYTH; SCHERF, 2015).

Os JS podem utilizar de diferentes ambientes de interação para alcançar seu objetivo, como a utilização de projetores de forma a tornar o ambiente mais imersivo para a criança, além de auxiliar no desenvolvimento de funções psicomotoras. Projetos que exemplificam bem os benefícios dessa interação são observados em (PANCERI et al., 2021) (ROGLIĆ et al., 2016) (VALENCIA; et al., 2017), onde alguns optam ainda pela integração de sensores para monitoramento e interatividade.

2.3 Robótica Socialmente Assistiva

A RSA é uma das três grandes áreas da robótica classificada no campo de estudo da Interação Humano Robô (IHR), correspondendo à intersecção entre RA, pela qual os robôs proveem assistência às pessoas com alguma deficiência física, visando independência; e a Robótica Socialmente Interativa (RSI), que possui alguma forma de interação social com o usuário humano para execução de sua tarefa principal (FEIL-SEIFER; MATARIC, 2005; COSTA; CASTRO, 2021).

A RSA visa auxiliar um usuário humano a melhorar sua qualidade de vida, saúde mental e bem-estar socioemocional utilizando câmeras, sensores e mecanismos que proporcionam sensibilidade, mobilidade e autonomia, e a alcançar um progresso mensurável na recuperação, reabilitação, aprendizagem, entre outros (PANCERI et al., 2021; FEIL-SEIFER; MATARIC, 2005). As atuais abordagens terapêuticas que utilizam RSA se valem de recursos lúdicos, principalmente jogos educativos, e tecnologia embarcada. Dessa forma, os terapeutas podem utilizar esses robôs como ferramentas para obter diferentes parâmetros, como nível de contato visual, toque físico, atenção compartilhada, participação em atividades interativas, capacidade de imitação, comunicação verbal, emoções, hipotonia, hiper mobilidade articular e sinais vitais enquanto realizam algum jogo e/ou atividade lúdica.

2.4 MARIA T21

MARIA T21 é um robô desenvolvido na UFES por uma equipe multidisciplinar, na área de robôs para interação com crianças. Este robô foi projetado com tecnologia embarcada para auxiliar crianças com TEA e Trissomia do Cromossomo 21 (T21) tanto no aprendizado e treinamento de atividades básicas do cotidiano quanto na avaliação de suas características dinâmicas enquanto realiza exercícios e atividades terapêuticas (PANCERI et al., 2021; SCHREIDER et al., 2021; PANCERI et al., 2022). A Figura 1 mostra o RSA MARIA T21.

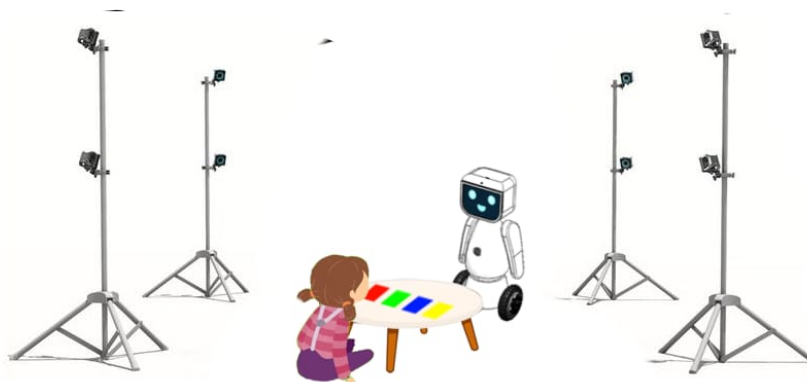
Seu desenvolvimento considerou aproximar suas dimensões às de uma criança de aproximadamente 8 anos, o que além de ganhos de portabilidade permite uma melhor adaptação às necessidades da criança a diferentes propostas terapêuticas (SCHREIDER et al., 2021). Além disso, buscou-se garantir que o robô pudesse ajudar diretamente não apenas crianças com TEA e T21, mas também familiares e terapeutas. Dessa forma, o robô conta agora com acessórios opcionais que acrescentam na experiência da criança e dos profissionais de

Figura 1 – Robô MARIA T21 interagindo com crianças



saúde, possibilitando mais formas de interagir com as projeções de vídeo no chão e mesa e fornecendo mais dados para análises, tais como tapete sensível ao toque, mesa espelhada para projeção e controle de jogos com as mãos, e estrutura de câmeras posicionadas em pontos estratégicos e ajustáveis do ambiente. A Figura 2 mostra o esquema de disposição de uma sala em condições ótimas para a interação criança e MARIA T21.

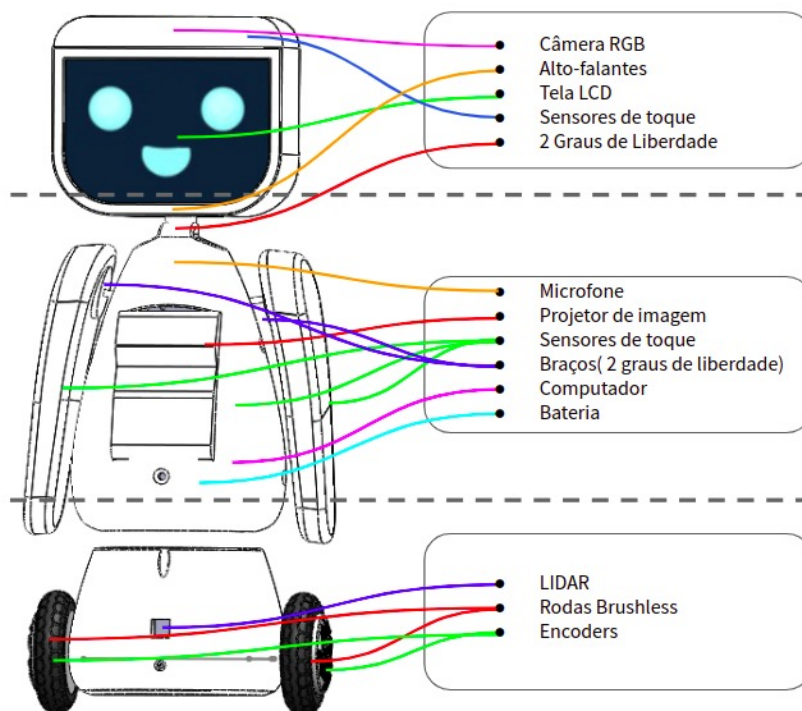
Figura 2 – Robô MARIA T21 - Ambiente de interação



A sua estrutura física é recoberta com um revestimento sensível ao toque que agrega a capacidade de sentir e responder através de expressões faciais e de falas ao toque, incentivando o contato físico e permitindo o acompanhamento da evolução terapêutica

em termos de linguagem corporal ou não verbal. O robô MARIA T21 também possui outros dispositivos embarcados, tais como um sensor laser (LIDAR), sendo também possível acompanhar avanços da proxêmica da criança durante a comunicação e encontros recorrentes de interação com o robô. A Figura 3 ilustra parte dos sistemas embarcados.

Figura 3 – Sistemas embarcados MARIA T21



O projetor integrado à estrutura física da MARIA T21, junto com as câmeras, também embarcadas, permitem que JS sejam projetados no chão com dimensões de largura e comprimento de aproximadamente 2 x 3,5 m, ou na mesa, onde as dimensões da projeção ficam menores mas torna-se possível a realização e avaliação de atividades com as mãos e registro de emoções através da face das crianças.

Enquanto os JS são projetados, o robô interage com as crianças, orientando-as sobre erros e acertos. O robô está equipado com um sistema de som e microfone e incentiva as crianças por meio de depoimentos verbais pré-gravados (voz artificial) dispostos em um banco de possibilidades de interações e respostas possíveis, para que as indagações da criança sejam prontamente respondidas, melhorando a dinâmica da interação e o interesse da criança.

Um monitor *Touch Screen* de 10.1 polegadas representa o rosto do robô MARIA T21, podendo expressar cinco diferentes emoções, são elas: muita alegria (amei), felicidade, tristeza, medo e raiva. A representação da boca se move, simulando o abrir e fechar dos lábios e, dessa forma, emula a emissão da voz. As diferentes emoções são intercaladas de modo que a relação criança-robô seja mais próxima possível de uma interação corriqueira e habitual entre dois interlocutores. Além disso, o conjunto de emoções é mais uma

possibilidade explorável de atuação do dispositivo pelos profissionais, uma vez que o reconhecimento de diferentes emoções, o que as causou e o que fazer para modificá-las, é uma das habilidades que podem ser desenvolvidas.

2.5 Unity 3D

A plataforma Unity 3D é um *software* que fornece um ecossistema de desenvolvimento através de uma interface simples e inúmeras bibliotecas que permitem, além de outras aplicações, o desenvolvimento de jogos para *desktops*, *consoles* e smartphones. (HAAS, 2014). O Unity é bastante conhecido entre a comunidade de desenvolvimento de jogos e utiliza a linguagem de programação C#, sendo a escolha para o desenvolvimento do projeto. O sensoriamento e processamento de imagem necessitam, porém, de bibliotecas externas mais específicas para que seja possível a integração de tais elementos com o jogo sério proposto. Assim, a integração externa pode ser realizada através de um *framework* que utiliza da linguagem de programação Python, permitindo, por exemplo, a identificação de movimento corporal, emoções esboçadas pela criança e posição dos olhos. A troca de informações entre o *software* externo desenvolvido em Python e o Unity é feito através do protocolo de comunicação UDP (JÁCOME et al., 2021).

2.6 MediaPipe

O MediaPipe é um *framework* multiplataforma de código aberto desenvolvido pelo Google que oferece e permite a criação de soluções de aprendizado de máquina para visão computacional como a análise de imagens em tempo real. A maioria das bibliotecas já desenvolvidas utiliza da linguagem de programação Python, sendo uma ferramenta versátil que permite adaptar-se às condições do ambiente, onde sua integração com o Unity possibilita à criança interagir e controlar o jogo somente a partir do sensoriamento através de gestos, ações ou expressões, enquanto permite que seja feita uma coleta de dados a fim de analisar como a criança reage ao jogo (LUGARESI et al., 2019).

2.6.1 Face Mesh

O Face Mesh (Fig. 4) é uma das principais bibliotecas oferecidas pelo MediaPipe, possibilitando o mapeamento facial em tempo real sem a necessidade de um sensor dedicado, apenas utilizando uma câmera como entrada e processamento de imagem. A partir de uma

imagem de um rosto humano, a ferramenta retorna uma máscara de 468 pontos, além de incluir pontos de referência de maior precisão como a posição dos olhos e íris. Esses pontos podem ser utilizados para a inferência de expressões faciais e posição dos olhos (Fig. 5) identificando a posição de foco da criança (ZHAO; LIU; ZHOU, 2021; GOOGLE, 2022).

Figura 4 – Face Mesh (GOOGLE, 2022)

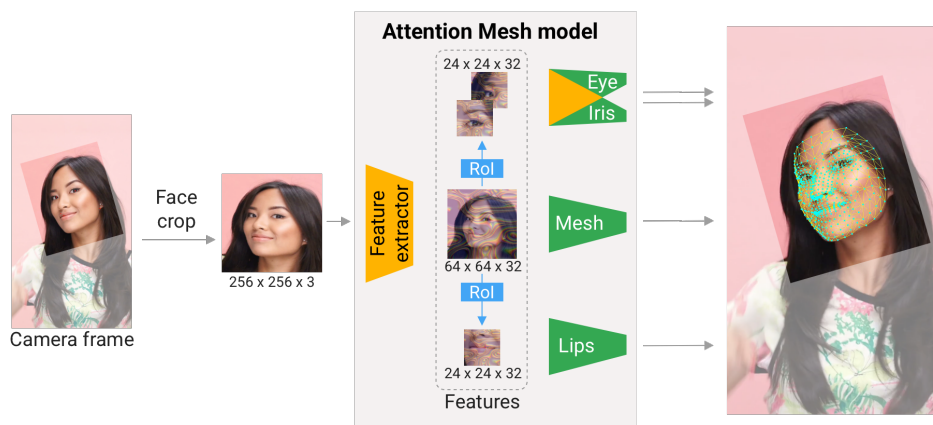
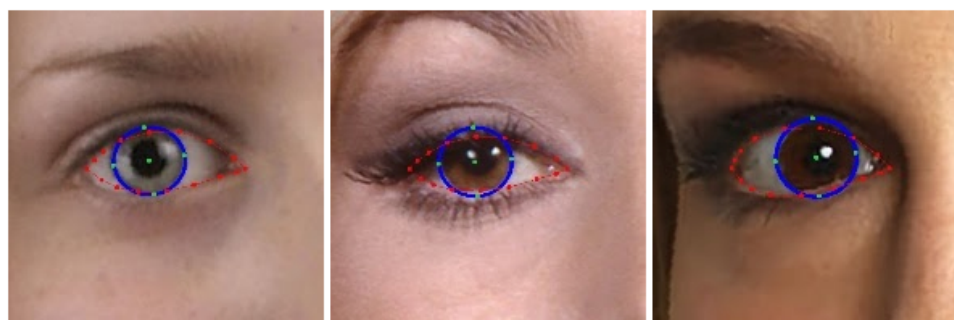


Figura 5 – Detecção de íris com Face Mesh (GOOGLE, 2022)



3 METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia Adotada

Trata-se de uma pesquisa de desenvolvimento em que o JS foi desenvolvido na plataforma Unity 3D integrado com a biblioteca Face Mesh do MediaPipe. Utilizará dos sensores e câmeras já presentes e instalados no robô MARIA T21 para interagir com a criança.

O desenvolvimento do trabalho foi dado por fim, conforme as etapas apresentadas a seguir.

- **Etapa 1.** Estudo teórico: *(i)* Estudo sobre o TEA; JS desenvolvidos; RSA; *(ii)* Estudo sobre desenvolvimento de jogos com Unity; estudo sobre utilização do MediaPipe.
- **Etapa 2.** Especificações do projeto: *(i)* Definir a proposta e jogabilidade; *(ii)* Definir habilidades desenvolvidas; *(ii)* Definir sensores utilizados.
- **Etapa 3.** Desenvolvimento do sistema: *(i)* Desenvolver jogo utilizando Unity 3D; *(ii)* Desenvolver algoritmo de integração com Face Mesh para reconhecimento de posição dos olhos.
- **Etapa 4.** Teste do sistema: *(i)* Realizar testes em relação ao funcionamento do jogo; *(i)* Realizar testes com crianças para coleta de dados.
- **Etapa 5.** Documentação: *(i)* Documentar o projeto de graduação.

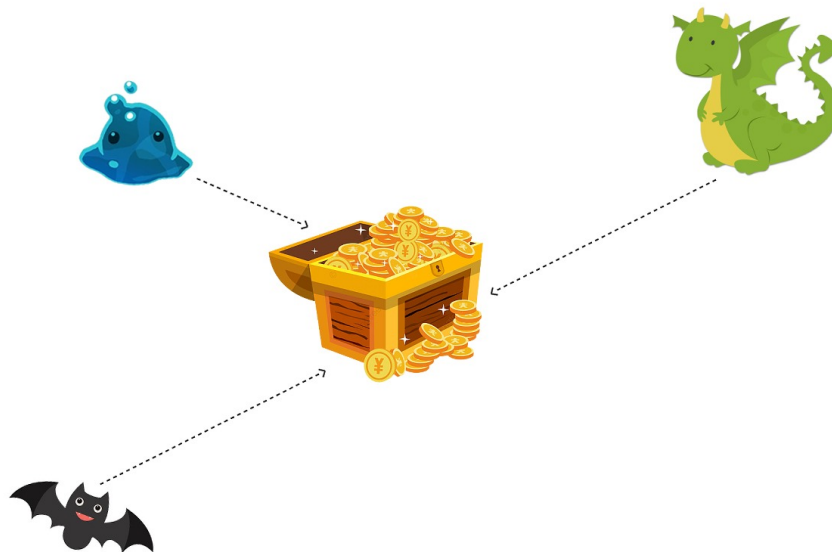
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Goblin Gold

4.1.1 Projeto Conceitual

Optou-se pela escolha do gênero “*Tower Defense*” que consiste no jogador defender um objetivo de uma série de inimigos e sobreviver o máximo de tempo possível, exigindo assim que o jogador mantenha-se focado e atento para pontuar, trabalhando em conjunto com o reforço positivo conforme o usuário progride no jogo. Dessa maneira, o objetivo do JS proposto é de proteger um objeto específico colocado no centro da tela de inimigos que a todo momento estão tentando alcançar o objeto. O JS conta com o surgimento desses inimigos em pontos aleatórios do mapa e que gradualmente irão se movimentar na tentativa de alcançar o objetivo. A fim de melhor visualização, podem-se definir figuras convenientes para tais entidades, por exemplo, o objetivo a ser defendido será definido como um “baú de tesouros”, e os inimigos representados por pequenos monstros, conforme a Figura 6, a qual lista o modelo conceitual do JS chamado Goblin Gold.

Figura 6 – Imagem conceitual - Jogabilidade



A jogabilidade baseia-se no fato que para o jogador defender o baú e pontuar, ele deve olhar fixadamente para o inimigo que se movimenta em direção ao baú por um determinado

período de tempo. Enquanto a criança mantiver o foco no inimigo, esse terá sua velocidade reduzida consideravelmente, emitindo partículas a fim de auxiliar a criança a manter o olhar fixo através do reforço positivo. Caso a criança mantenha o foco por tempo suficiente, o inimigo desaparece, fazendo com que o jogador pontue e receba um estímulo visual. Novos inimigos continuam a surgir conforme o jogo progride, levando o jogador a planejar-se e utilizar de estratégias para lidar com todos os inimigos antes que um número grande desses se acumule.

A intenção é, além de estimular a atenção, utilizar a visão periférica para gerenciar e observar os outros inimigos que não estão no foco de visão da criança.

À medida que a criança avança no jogo, ela atinge novos níveis, mantendo o jogo interessante e atrativo enquanto amplia os desafios e as dificuldades, exigindo ainda mais foco e atenção. O aumento da velocidade, número de inimigos, mudança de cenário e recompensas visuais e sonoras marcam a diferença entre os níveis. Em caso de algum inimigo atingir o objetivo com sucesso, o jogador perde “pontos de vida” até que esse número de vidas chegue a zero, finalizando assim o jogo e atribuindo uma recompensa de forma proporcional à pontuação, dando à criança um estímulo positivo.

4.1.2 Protótipo e interface

As primeiras semanas de desenvolvimento foram pautadas na curva de aprendizado da *engine* Unity 3D para a criação de jogos e da linguagem utilizada para esse fim que, diferentemente do processamento de imagens, onde foi utilizado Python, optou-se pelo C#, visto que em geral é a escolha preferida de muitos desenvolvedores da área por, entre diversos motivos, proporcionar um ecossistema robusto, especialmente com a Unity, oferecendo muitos recursos e suporte.

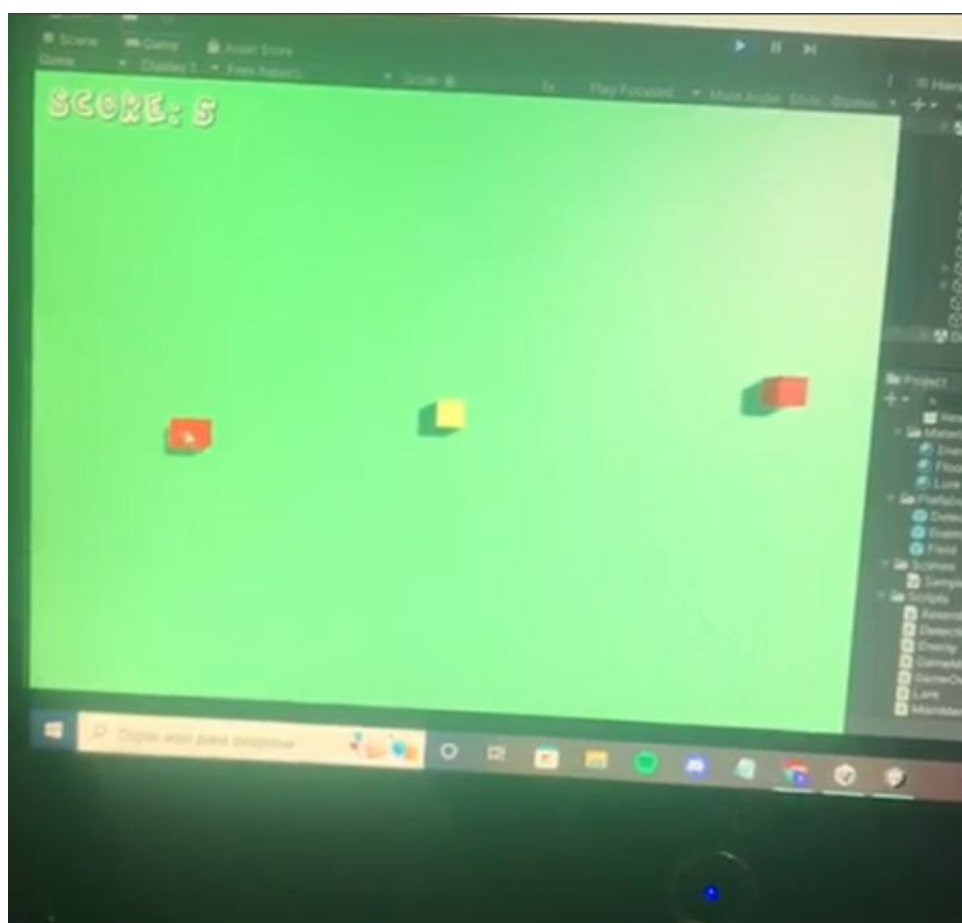
O conceito inicial do jogo foi implementado utilizando modelos geométricos simples, a fim de prototipar o funcionamento básico do jogo. O comportamento de cada aspecto do jogo é controlado por roteiros (*scripts*) que rodam a cada segundo e são atrelados às entidades únicas que compõem o jogo, as quais contêm os métodos e características de cada objeto em cena e regem como estes irão se comportar. No estágio inicial, essas formas geométricas surgiam em posições aleatórias e possuíam apenas as mesmas funções de movimentação, que se deslocavam sempre em direção ao centro da plataforma até atingir o objeto que deveria ser protegido.

Um *script* é utilizado para monitorar o ambiente e calculava a posição relativa do cursor

do mouse em relação aos objetos, usando a Equação 4. Nessa equação, as variáveis x e y representam as coordenadas cartesianas que descrevem as posições do foco e do inimigo. No caso dessa distância ser pequena o suficiente, o objeto próximo sofria uma redução na sua velocidade e ao manter esse estado por um determinado período de tempo a pontuação era incrementada e a instância do objeto retirada de cena.

$$D = \sqrt{(x_{focus} - x_{enemy})^2 + (y_{focus} - y_{enemy})^2} \quad (4.1)$$

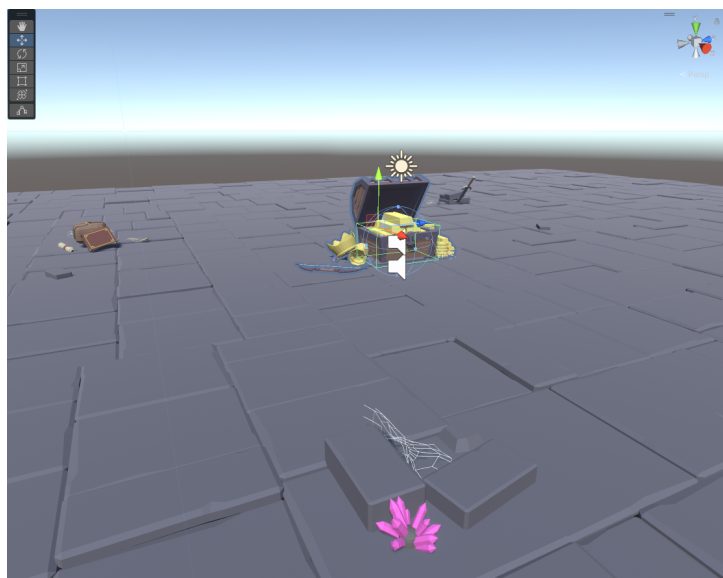
Figura 7 – Protótipo do jogo



Com o protótipo pronto (Fig. 7), partiu-se para o desenvolvimento de interfaces simples e implementação da lógica de início e fim de jogo. Assim, os inimigos representados até então pelos cubos vermelhos só começariam a surgir depois de que o jogo fosse iniciado, demarcado pela interação do usuário com um menu inicial. Nessa etapa também foram adicionadas as “vidas” do jogador, e no sistema de monitoramento foi adicionada a lógica para verificar quando um inimigo colidia com o objetivo a ser defendido, decrementando uma das vidas do jogador. Um menu de fim de jogo foi configurado para surgir quando as vidas se esgotavam e por fim realizados ajustes finos na velocidade de surgimento e randomização dos inimigos.

O próximo estágio de desenvolvimento do jogo foi pautado na implementação gráfica. Todos os aspectos gráficos, interfaces e modelos 3D foram obtidos de maneira gratuita através de fóruns e comunidades. Seguiu-se então para customização do cenário utilizando de uma temática medieval, atribuindo um modelo de baú com o objetivo a ser defendido, pisos de castelo para o terreno e objetos de cena temáticos (Fig. 8). Os modelos dos inimigos sofreram variação conforme decorreram-se as etapas de desenvolvimentos, seguindo um padrão de modelo para cada um do que viria ser diferentes classes de inimigos. Esses modelos foram escolhidos visando refletir uma estética de “monstrinhos”, de forma que tivessem um formato amigável para crianças. Efeitos visuais básicos como partículas para representar a posição de foco da criança na tela, que até então era somente a posição do cursor, e o surgimento de moedas ao derrotar os inimigos também foram adicionados. A Figura 9 apresenta a primeira versão funcional do Goblin Gold.

Figura 8 – Implementação gráfica do cenário



4.1.3 Modularização

O JS foi programado para adaptar-se à criança que está jogando, assim adequando a dificuldade com base no desempenho do jogador. Para isso, foram definidos parâmetros que realizavam a modularização da jogabilidade e, durante as etapas de desenvolvimento, introduzidos na lógica de funcionamento.

Para progredir entre os níveis, a criança deveria sobreviver a um grupo de inimigos obtendo um desempenho mínimo, que foi definido pelo número de vidas restantes ao final de cada fase. Pensando em atender essa métrica, o número de vidas foi aumentado consideravelmente para que se obtivesse maior consistência nos dados. Um sistema de pontuação mais complexo foi desenvolvido com a finalidade de se obter melhores métricas

Figura 9 – Primeira versão funcional



relativas ao desempenho das crianças durante a sua progressão entre os níveis, adicionando multiplicadores que levavam em consideração particularidades de cada nível e baseavam-se na atual modularização de dificuldade.

O desenvolvimento dessa etapa foi a de maior complexidade deste projeto e portanto a de maior duração. As principais dificuldades consistiram em implementar um código limpo, ao mesmo tempo que englobava todos os casos de uso e diferentes requisições para cada nível. Também foram levadas em consideração questões como otimização, para que durante seu tempo de execução o consumo de memória desnecessária do sistema fosse reduzido ao máximo, visto que esse por si só é um campo suficientemente complexo para demandar equipes inteiras na área de desenvolvimento de jogos. As dificuldades eram introduzidas conforme a complexidade dos *scripts* aumentava, levando à necessidade de um aprofundamento e estudo de conceitos como arquitetura de código, orientação a objeto e o próprio conhecimento da linguagem C# utilizada nos *scripts*, além da utilização de bibliotecas de desenvolvimento que auxiliaram em especial a implementação de animações e recursos gráficos.

Os parâmetros apresentados nessa seção sofreram variações com o decorrer das etapas de desenvolvimento e de testes conforme a necessidade de adequar-se às observações

Tabela 1 – Variáveis globais

<i>modulHealthMult</i>	Multiplicador base global da vida dos inimigos
<i>modulSpeedMult</i>	Multiplicador base global de velocidade dos inimigos
<i>levelMultiplier</i>	Multiplicador de nível
<i>distanceEye</i>	Distância mínima necessária da posição do foco em relação ao inimigo
<i>winStreak</i>	Número de vitórias em sequência
<i>loseStreak</i>	Número de derrotas em sequência
<i>repeatLevel</i>	Número de repetições globais
<i>totalScore</i>	Refere-se à pontuação total obtida ao longo de uma sessão de jogo, abrangendo todo o escopo da jogabilidade
<i>levelScore</i>	Refere-se à pontuação total obtida em um determinado nível específico
<i>finalPerformance</i>	Performance do jogador por nível, calculado baseado na relação entre número de vidas restantes do jogador ao final do nível e o número de vidas totais
<i>levelTime</i>	Tempo decorrido para finalizar um nível
<i>totalSpawn</i>	Número total de inimigos a enfrentados no nível atual
<i>simultaneousAllowed</i>	Número máximo de inimigos simultâneos que podem surgir no nível

realizadas. Esta seção tem como objetivo apresentar esses parâmetros no estágio final de desenvolvimento.

4.1.3.1 Variáveis Globais

O monitoramento do desempenho e a modularização da dificuldade foram realizados utilizando variáveis globais e os contextos associados a elas. Alguns dessas variáveis vêm descritas na Tabela 1.

O JS foi pensado de forma a dar chances à criança para errar e adaptar-se à curva de aprendizado, concedendo à criança a possibilidade de falhar em níveis algumas vezes antes de finalizar o jogo. Uma vitória em um nível é alcançada ao atingir o desempenho mínimo estabelecido para aquele nível, mas algumas fases podem ser repetidas caso a criança não alcance o resultado mínimo desejado ou quando o jogador fica sem vidas, que caracteriza uma derrota. Quando uma vitória é obtida, o contador global de vitórias é incrementado. Se um nível é repetido, o contador de vitórias não é aumentado, mas o contador de repetições é. No entanto, quando há uma derrota, tanto o contador de derrotas quanto o contador de repetições são incrementados e o contador de vitórias é zerado. Na ocorrência do contador registrar cinco repetições, o jogo é finalizado prematuramente no próximo nível, visando evitar a excessiva repetitividade e manter o jogo relativamente

curto, para preservar o interesse da criança. O jogador perde o jogo quando atinge sua terceira derrota consecutiva.

No início de cada nível, o jogador começa com a quantidade máxima de vidas, independentemente de quantas vidas ele possuía no nível anterior. Ao concluir um nível, é feito o cálculo de performance que reflete o desempenho da criança naquele nível. Esse cálculo é obtido através da proporção entre as vidas restantes e o número total de vidas do jogador. Ao obter um desempenho maior ou igual a 70% duas vezes de maneira consecutiva, haverá um incremento de 20% ao multiplicador base de vida dos inimigos, e ao atingir esse estágio pela terceira vez consecutiva, também é incrementado 20% ao multiplicador base de velocidade. Da mesma maneira, sempre que a criança se deparar com a tela de fim de jogo ao falhar em um nível, alcançado pelo jogador que perder todas as suas vidas, a vida base dos inimigos tem seu multiplicador decrementado em 10%, e caso ocorra uma segunda vez de forma consecutiva a velocidade dos inimigos também é diminuída em 10% do seu valor base. Enquanto não existe limitação máxima de quanto essas variáveis possam ser incrementadas, o valor mínimo de vida e velocidade que podem ser atingidos são de respectivamente 40% e 60% dos seus valores base, de forma a limitar o quanto o jogo pode ser facilitado por tal modularização.

Os multiplicadores de nível foram projetados com o propósito de facilitar uma contabilização mais precisa e equilibrada da pontuação, a fim de refletir o desempenho geral da criança ao concluir o jogo, levando em conta as possíveis repetições de níveis. Quando a criança apresenta um bom desempenho em cada fase e progride sem repetições, ela alcança os próximos níveis com multiplicadores maiores, diferentemente daquela que precisa repetir algumas fases antes de avançar. Os níveis em que não é necessário aplicar ajustes decorrentes de repetições têm um multiplicador de nível nulo.

4.1.3.2 Inimigos

Os inimigos têm como objetivo principal alcançar o baú, que é defendido pelo jogador e está posicionado no centro da tela. As vidas do jogador são representadas visualmente por corações, totalizando dez unidades por nível, e são decrementadas sempre que um inimigo alcança o objetivo. Conforme os inimigos são instanciados, eles se movem em direção ao baú e interagem com o ambiente de maneiras diferentes, dependendo dos valores de seus atributos. A Tabela 2 apresenta os atributos dos inimigos no jogo.

A modularização dos inimigos foi realizada por meio da variação desses atributos, utilizando um sistema de classificação. Os inimigos foram classificados em quatro tipos distintos,

Tabela 2 – Atributos dos inimigos

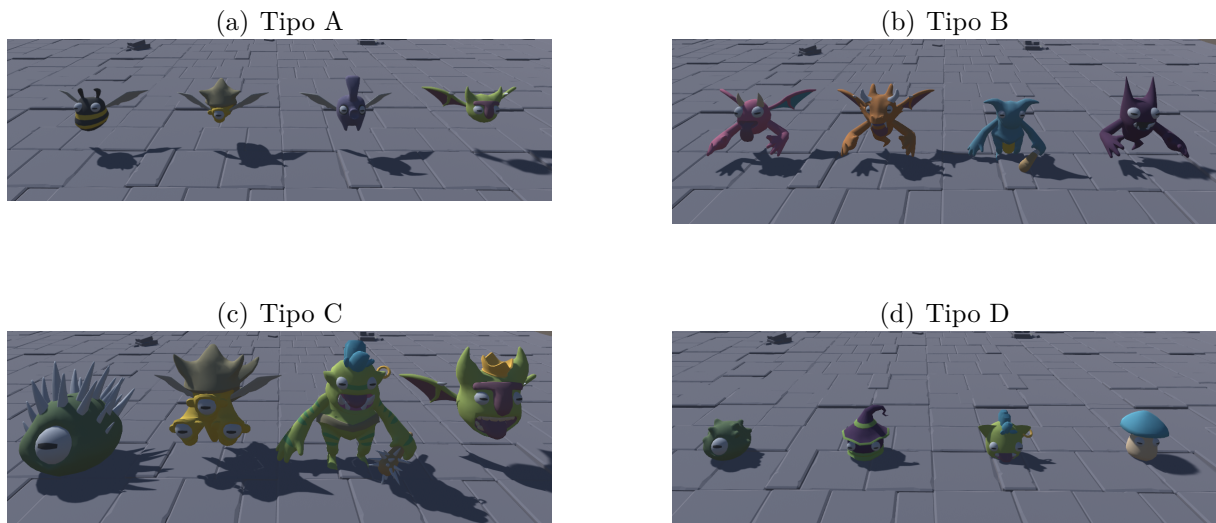
<i>maxHealth</i>	É representada visualmente por uma barra de saúde e reflete o tempo necessário para o jogador derrotar o inimigo, mantendo o foco sobre ele
<i>speed</i>	Indica a velocidade com que o inimigo se desloca em direção ao objetivo
<i>slow</i>	Representa a redução de velocidade que o inimigo sofre quando o jogador direciona o foco para sua posição atual
<i>baseScore</i>	É o valor base que, somado a multiplicadores, incrementa a pontuação total quando o inimigo é derrotado
<i>damage</i>	Indica o valor que é subtraído das vidas do jogador quando o inimigo atinge o baú

cada um com uma combinação diferente desses atributos, a fim de adicionar variedade à jogabilidade. Essa abordagem visa manter a progressão desafiadora e dinâmica, alternando entre os tipos de inimigos e exigindo o uso de habilidades específicas para derrotá-los.

- Tipo A - inimigos de alta velocidade e baixa vida máxima. Eles sofrem uma grande redução de velocidade quando o jogador os focaliza, como uma compensação pela alta velocidade e para recompensar reflexos rápidos. Possuem a segunda menor pontuação base ao serem derrotados ($baseScore = 3$) e infligem um dano de uma unidade às vidas do jogador ($damage = 1$);
- Tipo B - inimigos balanceados em todos os atributos. Possuem velocidade e vida máxima intermediárias e sofrem uma redução considerável de velocidade quando focalizados pelo jogador. Possuem a segunda maior pontuação base ($baseScore = 4$) e infligem um dano de duas unidades ($damage = 2$);
- Tipo C - inimigos desafiadores que recompensam o foco prolongado. Possuem a maior vida máxima entre os tipos de inimigos e a menor velocidade. Eles não sofrem redução de velocidade quando expostos ao foco do jogador. Possuem a maior pontuação ao serem derrotados ($baseScore = 5$) e causam o maior dano ao atingir o baú ($damage = 4$);
- Tipo D - inimigos de baixo desafio, destinados a introduzir os jogadores na curva de aprendizado. São lentos e possuem pouca vida máxima. Sofrem uma pequena redução de velocidade devido à sua velocidade já reduzida. Possuem a menor pontuação base ($baseScore = 2$) e causam dois pontos de dano ($damage = 2$) ao atingir o baú.

Os modelos tridimensionais dos inimigos selecionados foram projetados para exibir variações dentro de cada tipo, a fim de manter a estimulação visual e a sensação orgânica do jogo,

Figura 10 – Tipos de inimigos



evitando a ocorrência simultânea de modelos idênticos. A escolha também levou em consideração a manutenção de uma identidade visual distintiva para cada classificação de inimigos, permitindo a identificação do tipo de inimigo apenas pela sua aparência. Por exemplo, a aparência dos inimigos do tipo A foi implementada de forma a refletir sua velocidade e fragilidade. Esses inimigos são pequenos, voadores e possuem um movimento acelerado das asas. Por outro lado, os inimigos do tipo C são consideravelmente grandes e apresentam animações mais lentas. A Figura 10 apresenta os quatro tipos de inimigos do JS.

4.1.3.3 Níveis de jogo

A modularização dos níveis foi projetada para abordar e analisar habilidades específicas das crianças. Cada fase possui uma quantidade total de inimigos a serem derrotados e uma proporção variada de tipos de inimigos.

- FASE 1: Rodada de explicação e familiarização com a mecânica do jogo.
 - *totalSpawn* = 6;
 - *simultaneousAllowed* = 2;
 - *levelMultiplier* = 0;
 - Proporção de inimigos: apenas do tipo D;
 - Surgimento de inimigos é unilateral, limitado a apenas um eixo;

- Ao final do nível, realiza o cálculo de performance com base nas vidas restantes e prossegue para o próximo nível:
 - * Fase 2 - tipo X se *finalPerformance* inferior a 40%, e incrementa *repeatLevel* em uma unidade;
 - * Fase 2 - tipo Y se *finalPerformance* igual ou superior a 40%;
- FASE 2 - tipo X: Nesta fase, a curva de aprendizado é menos acentuada, oferecendo uma nova chance de familiarização. Os obstáculos são reduzidos, com menos inimigos aparecendo simultaneamente, mas uma nova mecânica é introduzida, onde os inimigos podem surgir de qualquer direção, exigindo que os jogadores estejam preparados para enfrentar ataques vindos de qualquer lado.
 - *totalSpawn* = 6;
 - *simultaneousAllowed* = 1;
 - *levelMultiplier* = 0;
 - Proporção de inimigos: apenas do tipo D;
 - Os inimigos podem surgir de todas as direções;
 - Prossegue para Fase 2 - tipo Y independente do desempenho obtido;
- FASE 2 - tipo Y: A partir deste nível, os inimigos podem surgir de todas as direções. Nesta fase, a curva de aprendizado se torna mais acentuada, e uma nova mecânica é introduzida, na qual inimigos de dois tipos diferentes aparecem no jogo. Os jogadores precisam enfrentar e lidar com diferentes tipos de inimigos simultaneamente.
 - *totalSpawn* = 8;
 - *simultaneousAllowed* = 2;
 - *levelMultiplier* = (2 - *repeatLevel*);
 - Proporção de inimigos: inimigos do tipo A e do tipo D, de acordo com a proporção (1A, 0, 0, 1D);
 - Os inimigos podem surgir de todas as direções;
 - Ao final do nível:
 - * Se o *finalPerformance* for inferior a 60%: o jogador permanece no mesmo nível e o número de repetições é incrementado. A partir da segunda repetição global, *modulSpeedMult* é reduzido em 10% e *modulHealthMult* é reduzida em 20%;

- * Se o *finalPerformance* for igual ou superior a 60%, ou *repeatLevel* for igual a três: o jogador avança para o próximo nível.

- FASE 3: Os próximos três níveis foram projetados pensando em analisar e desenvolver habilidades específicas da criança em cada etapa. Nesta rodada específica, são apresentados apenas inimigos rápidos e velozes, com o objetivo de avaliar a velocidade de reação e reflexo dos jogadores.
 - *totalSpawn* = 10;
 - *simultaneousAllowed* = 2;
 - *levelMultiplier* = 0;
 - Proporção de inimigos: apenas inimigos do tipo A;
 - Ao final do nível, o desempenho é registrado e a fase é repetida uma vez antes de avançar para o próximo nível, independentemente do desempenho obtido. Não haverá incremento no contador de repetição baseado no desempenho durante essa etapa;

- FASE 4: A análise agora se concentra na capacidade de foco dos jogadores. Serão apresentados apenas inimigos com vida máxima elevada e apenas um inimigo surgirá por vez, com o objetivo de avaliar a capacidade dos jogadores de manter o foco em um único inimigo por períodos mais prolongados
 - *totalSpawn* = 3;
 - *simultaneousAllowed* = 1;
 - *levelMultiplier* = 0;
 - Proporção de inimigos: apenas inimigos do tipo C;
 - Ao final do nível, o desempenho é registrado e a fase é repetida uma vez antes de avançar para o próximo nível, independentemente do desempenho obtido. Não haverá incremento no contador de repetição baseado no desempenho durante essa etapa;

- FASE 5: Análoga aos últimos dois níveis, a análise nessa etapa é voltada para as habilidades de visão periférica relacionadas ao campo visual lateral. Neste caso, são utilizados apenas inimigos balanceados, aumentando sua capacidade de sobrevivência. Isso resultará em ocorrências mais frequentes de enfrentar múltiplos inimigos ao mesmo tempo.

- $totalSpawn = 7$;
 - $simultaneousAllowed = 2$;
 - $levelMultiplier = 0$;
 - Proporção de inimigos: apenas inimigos do tipo B;
 - Ao final do nível, o desempenho é registrado e a fase é repetida uma vez antes de avançar para o próximo nível, independentemente do desempenho obtido. Não haverá incremento no contador de repetição baseado no desempenho durante essa etapa;
- FASE 6: A partir deste ponto, as rodadas são destinadas à avaliação dinâmica do nível da criança. Três tipos de inimigos podem surgir, beneficiando a habilidade de identificar e reagir adequadamente a cada tipo de inimigo para avançar com sucesso. Essa abordagem dinâmica visa estimular o desenvolvimento de habilidades cognitivas, reflexos e resolução de problemas em tempo real.
 - $totalSpawn = 12$;
 - $simultaneousAllowed = 2$;
 - $levelMultiplier = 0$;
 - Proporção de inimigos: apresenta inimigos dos tipos A, B e D, respeitando a proporção (2A, 4B, 0, 1D);
 - Ao final do nível:
 - * Se o $finalPerformance$ for inferior ou igual a 40%: a fase será repetida e o $repeatLevel$ incrementado. Na próxima tentativa Na próxima tentativa, os inimigos do tipo D serão removidos e o $totalSpawn$ será definido como 9;
 - * Se $finalPerformance$ for inferior a 60%: a fase será repetida, o $repeatLevel$ incrementado e o $totalSpawn$ será definido como 9. Caso na tentativa anterior os inimigos do tipo D tenham sido removidos, na próxima tentativa eles serão reintroduzidos e $simultaneousAllowed$ será definido como 1;
 - * Se $finalPerformance$ for superior a 60% mas menor que 79%: avança para a próxima de fase;
 - * Se $finalPerformance$ for superior ou igual a 80% na primeira tentativa: avança para a próxima fase, substituindo os valores da Fase 7 pelos seguintes: $simultaneousAllowed = 3$ e $levelMultiplier = (8 - repeatLevel)$.
 - FASE 7: O nível foi modularizado pensando nas crianças que avançaram nos níveis anteriores sem muitas dificuldades. Segue a mesma ideia do nível anterior, com a

presença de todos os tipos de inimigos. No entanto, caso a performance do jogador tenha sido maior que 80% no nível anterior, os parâmetros são alterados para aumentar ainda mais a dificuldade.

- $totalSpawn = 12$;
- $simultaneousAllowed = 2$;
- $levelMultiplier = (4 - repeatLevel)$.;
- Proporção de inimigos: apresenta inimigos de todos os tipos, respeitando a proporção (2A, 4B, 1C, 1D);
- Ao final do nível:
 - * Se $finalPerformance$ for inferior a 60%: a fase será repetida, o $repeatLevel$ incrementado e o $levelMultiplier$ será definido como 0. Caso na tentativa anterior o $simultaneousAllowed$ era igual a 3, ele retorna para o valor de 2;
 - * Se $finalPerformance$ for superior a 60% mas menor que 79%: o jogo será finalizado e a pontuação final será igual ao $totalScore$ obtido até o momento;
 - * Se $finalPerformance$ for maior ou igual a 80%: o jogo é finalizado, o $levelScore$ será multiplicado por 3 e adicionado ao $totalScore$, que se tornará a pontuação final do jogo;

Por fim, é importante ressaltar que o jogo pode ser encerrado antecipadamente em duas situações: quando o $repeatLevel$ atingir 5 ou quando a $loseStreak$ chegar a 3. Caso uma dessas condições seja alcançada o jogo será finalizado mais cedo, e se a razão for uma derrota, o menu de fim de jogo não conterá comemorações como nos outros casos, incentivando-o a buscar melhores resultados.

4.1.4 Pontuação

Ao calcular as pontuações finais, que resultam da soma da pontuação de cada fase, um desafio significativo foi garantir que as crianças recebessem uma pontuação justa. A dificuldade residia em evitar uma conclusão equivocada ao analisar as pontuações finais, uma vez que seria injusto recompensar um jogador com uma pontuação mais alta que repetiu várias fases e por isso enfrentou um número maior de inimigos, sem levar em consideração a dificuldade do jogo, pois assim sua pontuação não refletiria seu desempenho real. A abordagem adotada para resolver esse desafio foi a utilização de multiplicadores que refletem de forma mais precisa o desempenho geral do jogador ao longo do jogo. Esses multiplicadores podem ser aplicados aos pontos obtidos em cada fase como vem representado pelas equações a seguir:

$$score = baseScore \cdot scoreMultiplier \quad (4.2)$$

onde *score* representa a pontuação contabilizada ao derrotar um inimigo e *baseScore* é o atributo do inimigo derrotado que corresponde ao valor base da pontuação. O *scoreMultiplier* é o multiplicador aplicado a esse valor base resultado da soma de outros multiplicadores, representados na equação:

$$\begin{aligned} scoreMultiplier = & 1 + levelMultiplier + \left(\frac{winStreak}{2} \right) \cdot 2 \\ & + (modulHealthMult - 1) \cdot 2 + (modulSpeedMult - 1) \cdot 2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

sendo *levelMultiplier* o multiplicador de nível, *winStreak* o contabilizador de vitórias, *modulHealthMult* e *modulSpeedMult* os multiplicadores que atuam sobre a vida e velocidade dos inimigos respectivamente.

Dessa forma, os jogadores que conseguirem avançar rapidamente e obter bons desempenhos em menos repetições serão recompensados com multiplicadores mais altos, refletindo seu melhor desempenho geral durante o jogo e proporcionando uma avaliação mais precisa das pontuações finais.

A etapa que se seguiu foi destinada ao polimento do JS, adicionando e refinando interfaces mais trabalhadas, animações, efeitos visuais e sonoros. O foco se destinou à implementação dos conceitos de reforço positivo e ajustes não relacionados à lógica de funcionamento. Nesse estágio foi implementada a lógica que realizaria a coleta de dados, imprimindo ao final de cada fase as variáveis e dados relevantes para análise posterior. Entre outras mudanças, foram adicionados fogos de artifício ao final de cada nível e interfaces com desenhos tematizados e de caráter infantil, representados pelas Figuras 11 e 12. Vale ressaltar que todas as imagens utilizadas para compor os menus e interfaces do jogo foram geradas pela inteligência artificial da Microsoft Bing DALL-E (BING, 2022).

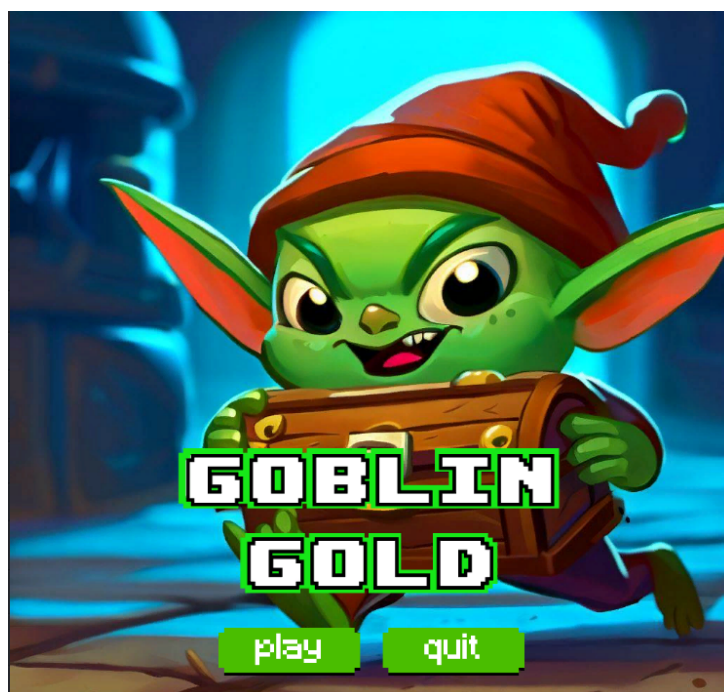
4.2 Desenvolvimento do Monitoramento Facial

Em paralelo ao desenvolvimento da mecânica e interface do JS, foi realizada a implementação do sistema que viria a ser responsável pelo processamento das imagens que seriam captadas durante a execução do jogo, realizando os cálculos para que fosse dada a direção

Figura 11 – Finalização de nível com fogos comemorativos



Figura 12 – Menu principal do jogo



em que o jogador projetava sua visão. O sistema depois de pronto só seria integrado ao JS em seus estágios finais.

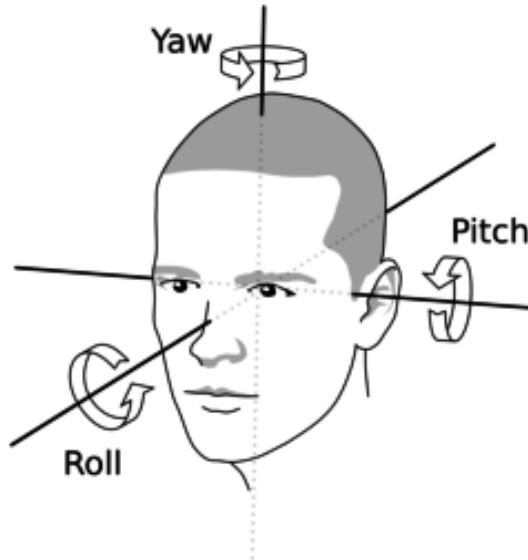
Nas subseções seguintes, discute-se o desenvolvimento desse sistema de processamento de imagem, que tem como objetivo reconhecer o local para o qual a criança direciona seu

olhar durante a prática do jogo. Essa abordagem deu origem ao artigo autoral apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB 2022)(NEGRI et al., 2022).

4.2.1 Estimativa da Pose da Cabeça

Com base nos pontos obtidos a partir do Face Mesh em um quadro, a primeira etapa consiste em estimar a pose atual da cabeça da criança, ou seja, os ângulos de *Pitch*, *Yaw* e *Roll* (Figura 13). Essa estimativa é crucial, uma vez que qualquer movimento estimado da pupila será influenciado por esses ângulos.

Figura 13 – Ângulos de *Pitch*, *Yaw* e *Roll* da cabeça (JANTUNEN et al., 2016)

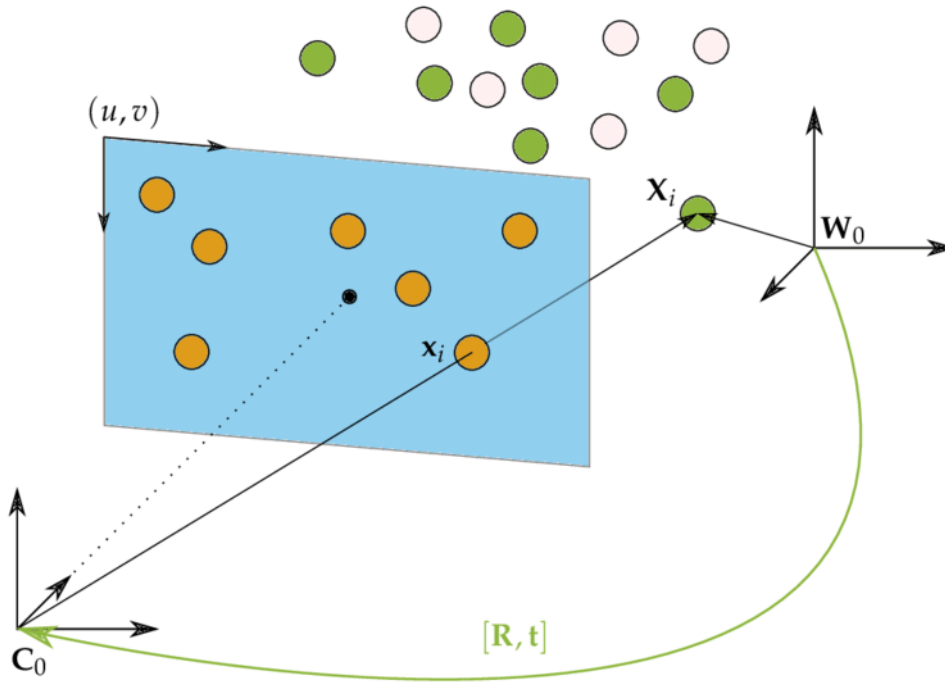


A estimativa da pose envolve a transformação de coordenadas 3D para 2D. A Figura 14 ilustra esse problema, onde os pontos indicados na tela azul (2D) (u, v) são a projeção dos pontos do mundo 3D W_0 a partir de uma câmera C_0 .

O modelo de câmera pinhole é um modelo matemático que descreve a relação entre pontos no mundo 3D e sua projeção no plano da imagem 2D. A partir desse modelo, pode ser derivada a seguinte equação (GONZALEZ; WOODS, 2010):

$$S \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = M[R|t] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4.4)$$

Figura 14 – Transformação de pontos no espaço 3D para pontos na imagem 2D(MÜLLER, 2020)



onde S é um escalar desconhecido, u e v são as coordenadas projetadas no plano 2D, M é a matriz que descreve as características da câmera, R é a matriz de rotação, t é um vetor de translação e x , y e z são as coordenadas do ponto 3D. A matriz de rotação R pode ser decomposta nos ângulos de *Pitch* (θ), *Yaw* (ϕ) e *Roll* (ψ) por meio da relação $R = R_z(\phi)R_y(\theta)R_x(\psi)$, onde (GONZALEZ; WOODS, 2010):

$$R_z(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$R_x(\psi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

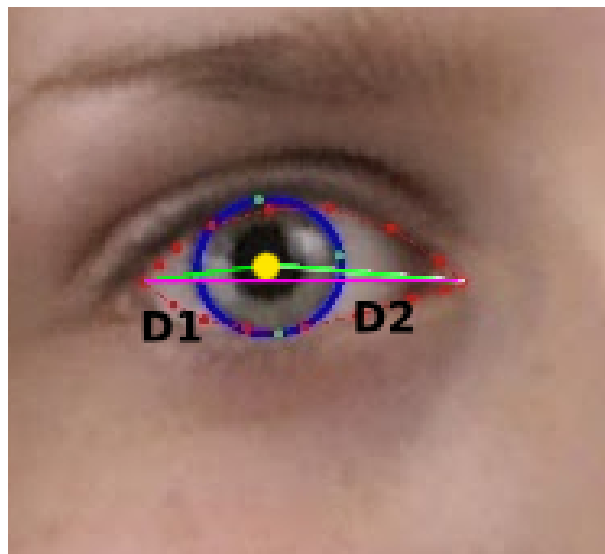
As matrizes R e o vetor t podem ser estimados utilizando a função solvePnP da biblioteca OpenCV (BRADSKI, 2000). Para isso, é necessário um conjunto de pontos correspondentes

no mundo 3D e suas projeções no plano 2D. O MediaPipe fornece as coordenadas canônicas do modelo 3D da biblioteca Face Mesh em sua base de dados, onde a ponta do nariz serve como referência $(0, 0, 0)$. Ao executar o algoritmo, obtém-se a projeção desses pontos em um plano 2D, estabelecendo assim a correspondência de pontos necessária para que o algoritmo PnP estime os parâmetros de transformação 3D para 2D em cada quadro capturado.

4.2.2 Estimativa de Movimentação das Pupilas

A estimativa de movimentação das pupilas pode ser obtida calculando-se a distância entre o centro da pupila (ponto amarelo) e os pontos que definem os cantos do olho, bem como a distância vertical entre o centro da pupila e a linha horizontal formada por esses pontos (linha rosa), conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Estimativa de Movimentação das Pupilas



Após um processo de calibração inicial, no qual a criança olha para quatro pontos pré-definidos, o sistema de seguimento do movimento do globo ocular (*Eye Tracker*) é capaz de estimar a posição na tela para onde a criança direciona seu olhar.

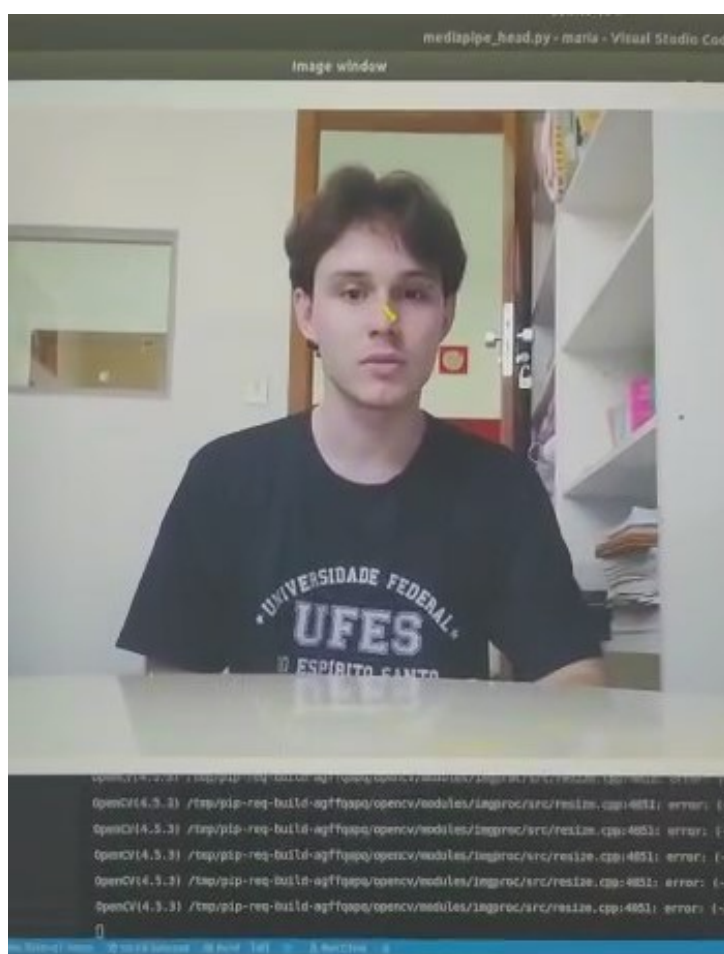
4.3 Avaliação

O JS sofreu mudanças em alguns de seus parâmetros, conforme foi submetido a testes de integração com o monitoramento facial e de aceitação e usabilidade com os usuários finais.

4.3.1 Testes de integração do controle ocular

Antes da integração do JS com o sistema de controle através da direção do olhar, o cálculo realizado para derrotar um inimigo era dado pela posição relativa do mouse, que deveria permanecer a uma distância mínima do corpo do inimigo por um determinado período de tempo, e caso o cursor se deslocasse para fora desse limite mínimo antes de atingir o período de tempo estabelecido, essa contagem de tempo era reiniciada. A implementação inicial se baseava na ideia de obrigar a criança a manter o foco para vencer o inimigo para desenvolver tal habilidade. A Figura 16 mostra um dos testes de reconhecimento facial.

Figura 16 – Desenvolvedor realizando testes de reconhecimento facial



Durante os testes de integração foi observado pelos integrantes do projeto que uma melhor abordagem seria a de utilizar um sistema de pontos de vida para cada inimigo e que fosse decrementado a cada segundo que o foco estivesse direcionado a ele (Figura 17). Essa mudança tinha como objetivo contornar e resolver possíveis problemas ao submeter o JS a crianças agitadas que realizassem movimentos bruscos e englobar possíveis falhas e limitações no sistema que pudessem interferir o reconhecimento facial, gerando

inconsistências na posição computada do foco, que seria suficiente para reiniciar o contador de tempo do sistema antigo, levando a criança a ficar irritada e perder o interesse no jogo.

Assim, foi implementada uma barra de vida para cada inimigo, permitindo ainda uma maior flexibilidade em relação à modularização do jogo, bem como realização de ajustes finos em variáveis relativas à dificuldade, na tentativa de melhor balancear o jogo para integrar essas mudanças.

Figura 17 – Desenvolvedor realizando testes de jogabilidade



4.3.2 Testes de aceitação pelos usuários finais

Com a finalização das etapas anteriores, o jogo foi submetido a testes com os usuários finais. No início do período destinado à coleta de dados, foram observados a resposta e o desempenho que as crianças obtinham ao jogar. Apesar da aceitação ter sido bastante positiva, as primeiras sessões levaram à identificação de uma série de pequenas mudanças necessárias.

O JS inicialmente tomava um tempo maior que o previsto, os níveis se tornaram longos e algumas crianças ficavam irritadas ou perdiam interesse com o decorrer do jogo, especialmente nas primeiras sessões onde ainda não existia familiarização com a mecânica do jogo que tinha como requerimento a realização de movimentos suaves com a cabeça, além de manter-se na postura correta para que a câmera responsável pela captação fosse capaz de enquadrar minimamente o jogador. Visto que as características e dificuldades provenientes de pessoas inseridas no espectro podem variar muito de um indivíduo para o outro, fez-se a tentativa de deixar o JS acessível aos diferentes jogadores e suas dificuldades particulares, entretanto, isso resultou em um nível global de baixa dificuldade, onde tornou-se incomum uma criança chegar à tela de fim de jogo, mesmo cometendo muitos erros, levando a uma dificuldade de se extrair informações pertinentes acerca do desenvolvimento de habilidades individuais. A Figura 18 mostra uma criança durante os primeiros testes de aceitação.

Uma rápida análise levou a diminuir o número de inimigos por nível e o tempo de surgimento entre eles e aumentar ligeiramente a velocidade de todos os inimigos na expectativa de reduzir a duração total do jogo. A ideia consistia em alterar essas condicionais e averiguar a eficácia nas próximas sessões. Uma possível solução para o segundo problema identificado seria realizar ajustes nessas variáveis, juntamente com outras alterações, como o aumento da vida dos inimigos. Essa abordagem visa aumentar a dificuldade geral do jogo. No entanto, é preciso ter cautela em relação à diminuição de inimigos, pois isso poderia agravar a situação de níveis sendo concluídos com muitas vidas restantes, independentemente do desempenho do jogador. Para tal, a opção de diminuir o número de vidas do jogador na tentativa de alcançar o equilíbrio não era atrativa, uma vez que diminuiria também a precisão da métrica utilizada para medir o desempenho. Logo, uma melhor abordagem seria atribuir para cada inimigo que chegasse ao baú penalidades diferentes nas vidas do jogador com base naquele tipo de inimigo.

A identificação e mapeamento prévios de possíveis problemas que poderiam surgir durante a experiência dos jogadores em relação à utilização dos controles e desafios, permitiu uma rápida adaptação para solucionar as dificuldades encontradas. Durante a implementação dos *scripts* existiu um planejamento para englobar questões como escalabilidade e manutenção

Figura 18 – Criança realizando teste



de código, uma vez que existe um consenso de que os melhores parâmetros e constantes de modularização só seriam conhecidos e ajustados na prática. Sendo assim, as mudanças dessas variáveis foram realizadas sem grandes esforços.

Além disso, foram incluídas funcionalidades para auxiliar as crianças a se familiarizarem com as mecânicas de jogo. Uma dessas funcionalidades é a implementação de um nível especial, ilustrado na Figura 19. Nesse nível, há apenas quatro inimigos que ficam parados ao redor de um baú, com o objetivo de permitir ao jogador realizar uma calibração inicial. Antes, assim que o jogo se iniciava os inimigos começavam a surgir, e a partir da inserção desse nível somente após os inimigos estáticos serem derrotados o jogo começava a inserir novos inimigos móveis. Do ponto de vista do controlador do robô, o nível ainda seria utilizado para avaliar a dificuldade da criança em utilizar o sistema, onde foi implementada a possibilidade de, através do teclado que era utilizado apenas pelo controlador, aumentar ou diminuir a área de foco, referente à distância necessária para contabilizar dano aos inimigos.

Houveram mudanças também voltadas a flexibilizar e facilitar a montagem do ambiente

Figura 19 – Nível de calibração



físico onde as sessões aconteciam. O JS era projetado em uma mesa com formato circular através do projetor localizado no próprio robô, onde dependendo da posição relativa entre os dois, poderia levar a configurações ruins para visualização de alguns elementos do jogo. Dessa maneira, para conveniência do acompanhante que aplicava os jogos durante a sessão, foram introduzidos comandos que podiam ser acionados também através do teclado, que ajustavam em tempo real a escala e a posição dos menus, interfaces e elementos gráficos, bem como o campo de visão do jogo. A Figura 20 apresenta a versão final do jogo, com todos os elementos e recursos implementados.

4.3.3 Conclusão

Apesar das mudanças mencionadas, não houve necessidade de se realizar maiores alterações no jogo. Os testes de integração e aceitação obtiveram ambos resultados muito satisfatórios logo nas primeiras observações, onde as crianças se mostraram empolgadas e ansiosas pelo JS, e a computação do foco projetado no ambiente do jogo teve um funcionamento relativamente direto, sem a necessidade de grandes calibrações ou mudanças na implementação. As limitações para a jogabilidade encontradas pela falta de um equipamento especializado foram mínimas e contornadas com as estratégias descritas. A falta de processamento

Figura 20 – Versão final do jogo



computacional para uma maior taxa de atualização da posição do foco foram compensadas pela familiarização dos jogadores com a posição das partículas no jogo, que cumpriram bem o papel de ser uma representação visual do local de foco, de forma a levar a criança a atingir um grau de aprendizagem incorporada, que ocorre quando uma ação ou habilidade é dominada a ponto de se tornar automática e natural, sem exigir um esforço consciente ou atenção deliberada (SALOMON, 1983; PARIS, 2005).

4.4 Validação

4.4.1 Participantes

A validação aconteceu na APAE Vitória durante 6 semanas e contou com a participação de 8 crianças entre 7 e 9 anos com diagnóstico de TEA num espectro que englobava os graus: leve com dotação, leve, leve/moderado, moderado e moderado/severo, conforme mostra a Tabela 3. Além disso, todas apresentavam, isoladas ou de forma concomitante,

alguma estereotipia entre visão periférica, andar na ponta dos pés, ecolalia da fala e bater das mãos. A Figura 21 ilustra algumas crianças jogando o Goblin Gold durante as coletas. O JS em sua versão de validação encontra-se disponível de forma livre no link: <https://github.com/YuriRissi/serious-game-project>.

Figura 21 – Crianças realizando o experimento



Tabela 3 – Perfil dos participantes

Participante	Sexo	Idade	Estereótipo	Nível
K1	Masculino	7	Visão Periférica	Habilidades Leves/Altas
K2	Masculino	7	Caminhar nas Pontas dos Pés, Visão Periférica	Leve
K3	Masculino	8	Ecolalia	Leve/Moderado
K4	Masculino	6	Agitar as Mãos, Caminhar nas Pontas dos Pés	Leve/Moderado
K5	Masculino	8	Agitar as Mãos, Caminhar nas Pontas dos Pés, Ecolalia	Moderado
K6	Feminino	7	Ecolalia, Visão Periférica	Moderado
K7	Masculino	7	Caminhar nas Pontas dos Pés, Ecolalia, Visão Periférica	Moderado/Grave
K8	Masculino	9	Não-verbal, Agitar as Mãos	Moderado/Grave

4.4.2 Resultados

A Tabela 4 mostra a evolução da distância de reconhecimento de cada criança ao longo das seis coletas. A distância de reconhecimento corresponde aproximadamente à área circunvizinha ao foco ocular do jogador, quanto menor a distância, maior é a necessidade do jogador direcionar de forma precisa o seu foco ocular. Devido à natureza do ambiente

3D e do sistema de coordenadas do Unity, não existe uma unidade de medida física definida para as distâncias registradas. No entanto, é importante destacar que essa ausência de unidade física não representa uma limitação significativa para o propósito do jogo e não compromete a validade dos resultados. As distâncias são usadas internamente para fins comparativos e de análise.

Tabela 4 – Distância de reconhecimento

Coleta	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
1	4.5	4.5	5.0	6.0	6.5	6.0	8.0	8.0
2	4.5	4.5	4.5	4.5	6.0	6.0	8.0	8.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.5	6.0	8.0	8.0
4	1.5	2.5	3.0	3.0	4.5	4.5	8.0	8.0
5	1.5	2.0	3.0	1.5	3.0	4.5	8.0	8.0
6	1.5	1.5	2.5	2.0	3.5	3.0	8.0	8.0

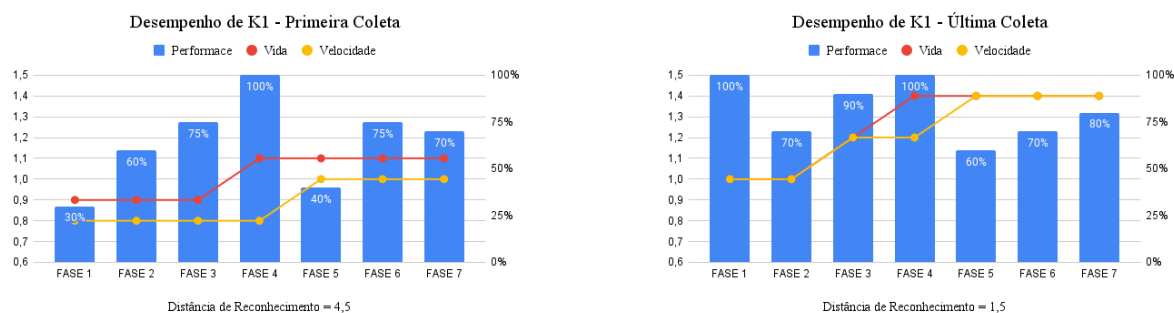
Após analisar os resultados do experimento com as oito crianças com autismo, pode-se observar diferentes padrões de desempenho relacionados ao perfil de cada criança. Os resultados obtidos estão alinhados com pesquisas científicas recentes que investigaram o impacto de JS no desenvolvimento de habilidades específicas em crianças com autismo (MEIRELLES et al., 2022).

A Figura 27 mostra os gráficos utilizados para medir o desempenho de K1 ao longo dos níveis. As barras azuis representam o desempenho da criança no nível, calculada pela divisão do número de vidas restantes no nível pelo número total de vidas do jogador. A performance em cada nível é representado como uma média dos desempenhos, levando em consideração que as fases podem ser repetidas ao longo do jogo. Dessa forma, é possível analisar de forma pontual as dificuldades específicas dos participantes com base nos desempenhos de cada fase e suas habilidades relacionadas. As linhas vermelha e amarela representam, respectivamente, os multiplicadores globais de vida e velocidade, responsáveis pela principal modularização do jogo. Pode-se observar como esses multiplicadores se comportam ao longo dos níveis, buscando adequar a dificuldade do jogo com base, entre outros fatores, no desempenho de cada nível. A partir dos testes realizados com os usuários, ficou definido que os valores padrões para esses multiplicadores fossem de 1.0 para vida e 0.8 para velocidade. Portanto, todas as crianças iniciavam o jogo com esses valores como base para a experiência de jogo.

No caso de K1, um aluno de escola pública diagnosticado com autismo leve e altas habilidades, observa-se um desempenho consistente ao longo das seis semanas de teste. Seus gráficos de modularização de vida e velocidade mostram uma progressão positiva, indicando um aumento na dificuldade das fases do jogo para mantê-lo engajado. Além disso,

sua distância de reconhecimento diminuiu gradualmente, evidenciando maior precisão em seu foco visual. Esses resultados estão alinhados com estudos que destacam a importância de desafios graduais para promover o desenvolvimento de habilidades em crianças com autismo (JOHNSON; SMITH; MUNDY, 2016). Nota-se K1 inicia a última semana com modularização de velocidade igual a 1. Isso se deu de forma manual e não automática, já que o bom desempenho da criança levou os pesquisadores a fazerem um acréscimo na velocidade dos inimigos do JS já na fase inicial.

Figura 22 – Desempenho médio de K1 por fase e modularizações de vida e velocidade

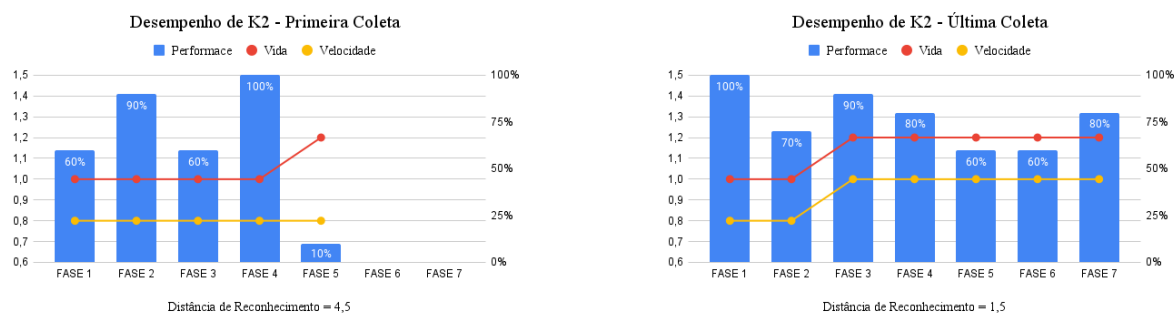


K2, um aluno de escola particular com características semelhantes a K1, porém sem o diagnóstico de altas habilidades, apresentou um desempenho menos consistente ao longo dos experimentos. Embora tenha mostrado paciência e persistência em avançar até a fase 5 em média, seus resultados nas fases variaram consideravelmente. Isso pode ser atribuído à sua estereotipia de andar na ponta dos pés e à visão periférica, que podem afetar sua concentração e atenção durante o jogo. Estudos têm demonstrado que estereotipias motoras podem interferir no desempenho de tarefas cognitivas em crianças com autismo (O'REILLY et al., 2017). Na fase 3, desenvolvida com o objetivo de avaliar os reflexos, K2 não atingiu constância no decorrer das avaliações, obtendo valores de desempenho que demonstram dificuldade (60%) e em outros momentos destreza e facilidade (100%). Houveram quatro coletas em que ele obteve 90% de desempenho, o que indica habilidades adequadas de reflexo. Ele também obteve um desempenho variável na avaliação de concentração, com valores entre 60% e 100%. Isso sugere que K2 conseguiu manter a concentração necessária. No entanto, ele enfrentou desafios em lidar com o campo visual lateral. A Figura 23 mostra a média do desempenho de K2 e a modularização realizada durante a primeira e última coleta.

K1 e K2, que apresentam autismo leve, obtiveram resultados similares nas fases 1, 2 e 3, mas a modularização de vida agiu em K2 a partir da fase 4 porque o mesmo não teve o desempenho necessário para manter a crescente de modularização.

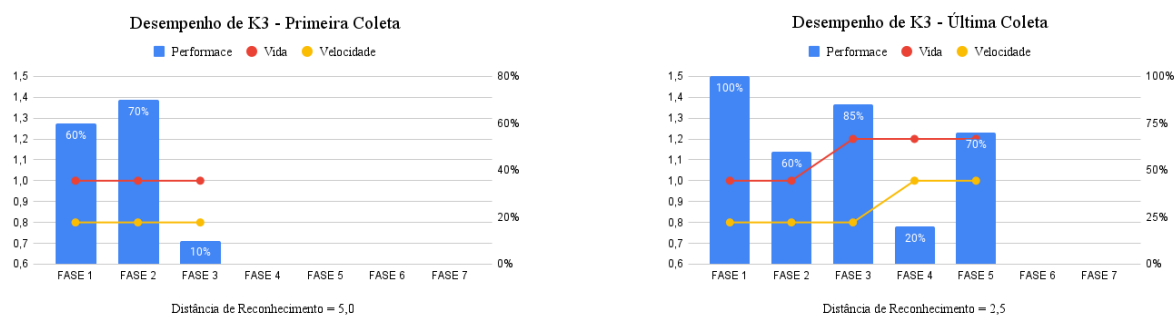
Já K3, um aluno com autismo leve/moderado e problemas de autoconfiança, apresentou

Figura 23 – Desempenho médio de K2 por fase e modularizações de vida e velocidade



um desempenho variável. Apesar de demonstrar habilidades promissoras em determinados momentos, ele tendeu a desistir e se recusar a jogar, especialmente após perder vidas. Essa falta de persistência pode estar relacionada à sua falta de autoconfiança e à necessidade de apoio emocional adicional durante o jogo. Pesquisas têm destacado a importância do suporte socioemocional para promover o engajamento e a motivação em crianças com autismo (KOEGL; KOEGL, 2013). K3 obteve um desempenho consistente de 60%, indicando uma capacidade mediana de reação rápida (reflexos). Na avaliação de concentração, obteve um desempenho constante de 80% em todas as coletas. Quanto ao campo visual lateral, apresentou um desempenho variável entre 60% e 80% nas diferentes coletas, mostrando uma capacidade razoável. A Figura 24 mostra a média do desempenho de K3 e a modularização realizada durante a primeira e última coleta.

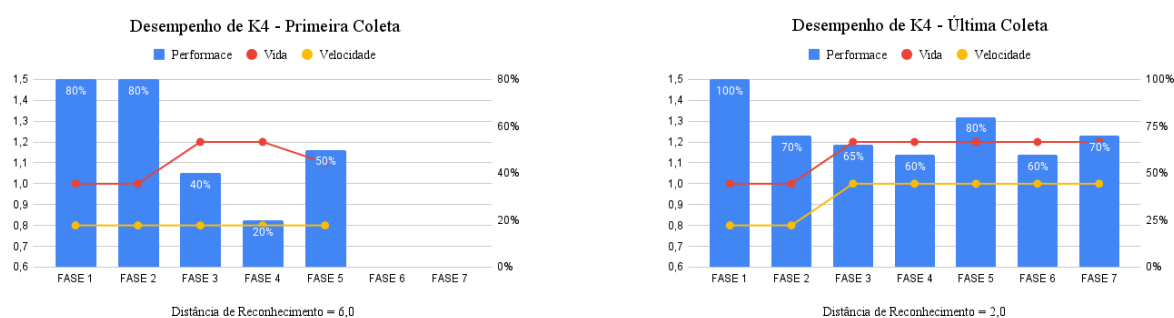
Figura 24 – Desempenho médio de K3 por fase e modularizações de vida e velocidade



Para K4, um aluno com autismo leve/moderado, observou-se um desinteresse pelo jogo e um desejo de finalizá-lo antes de chegar à fase 7. No entanto, nas duas últimas coletas, ele conseguiu concluir todas as fases. Seus gráficos de modularização de vida e velocidade indicam um desempenho estável, com valores mais altos de modularização em algumas fases. Isso sugere que o jogo pode ter oferecido um nível adequado de desafio para mantê-lo envolvido. Estudos têm destacado a importância de adaptações individuais e personalizadas em JS para crianças com autismo (BROWNLOW et al., 2019). K4 apresentou um desempenho variável na fase que testava seus reflexos. Isso indica que

sua capacidade de reação rápida aos inimigos rápidos foi desafiadora, mas houve uma melhora gradual ao longo das coletas. Ele mostrou um desempenho crescente e consistente em relação a concentração. Por outro lado, ele enfrentou desafios em lidar com o campo visual lateral, apesar de que houve uma melhora gradual em seu desempenho ao longo das coletas. Portanto, K4 mostrou progresso na concentração e reflexos, enquanto enfrentava dificuldades em depender da visão periférica. Os resultados podem ajudar a direcionar intervenções e adaptações no JS para atender às necessidades específicas de K4 e oferecer uma experiência mais adequada e estimulante para ele. A Figura 25 mostra a média do desempenho de K4 e a modularização realizada durante a primeira e última coleta.

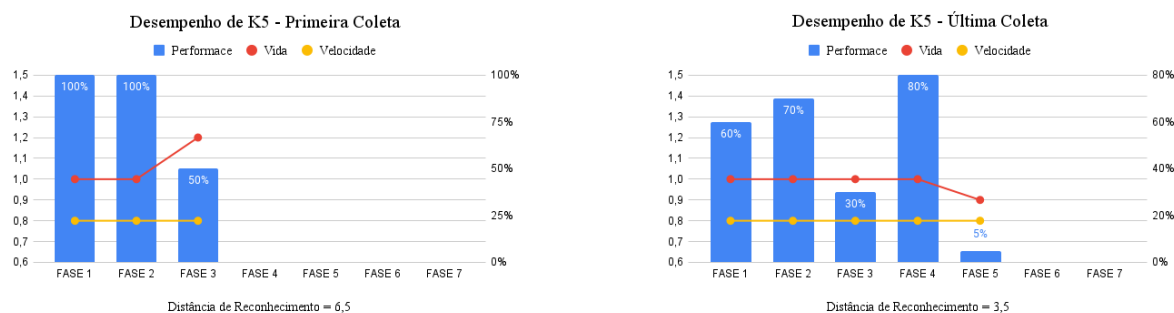
Figura 25 – Desempenho médio de K4 por fase e modularizações de vida e velocidade



K5, um aluno com autismo moderado, apresentou um desempenho decrescente ao longo das coletas, não conseguindo progredir além da fase 3. Seus gráficos de modularização de vida e velocidade mostram uma tendência decrescente, sugerindo dificuldades em acompanhar a velocidade e a complexidade do jogo. Esse resultado está alinhado com pesquisas que enfatizam a importância de adaptações e suporte individualizados para crianças com autismo moderado (SMITH; SCHWIRZKE, 2017). K5 apresentou um desempenho variável na avaliação de reflexos ao longo das coletas. Sua capacidade de reação aos inimigos rápidos foi desafiadora, mas houve certa consistência em seu desempenho. Ele enfrentou desafios significativos, especialmente nas fases 4 e 5, onde não conseguiu avançar e, portanto, não foi possível avaliar concentração e a visão periférica. Apresentando estereotípias de bater as mãos, ecolalia e caminhar na ponta dos pés, K5 pode ter tido dificuldades em se concentrar e reagir adequadamente aos desafios do jogo. É importante considerar esses aspectos em futuras intervenções, adaptando o JS para melhor atender às necessidades específicas de K5 e fornecer um ambiente de jogo mais acessível e estimulante para ele. A Figura 26 mostra a média do desempenho de K5 e a modularização realizada durante a primeira e última coleta.

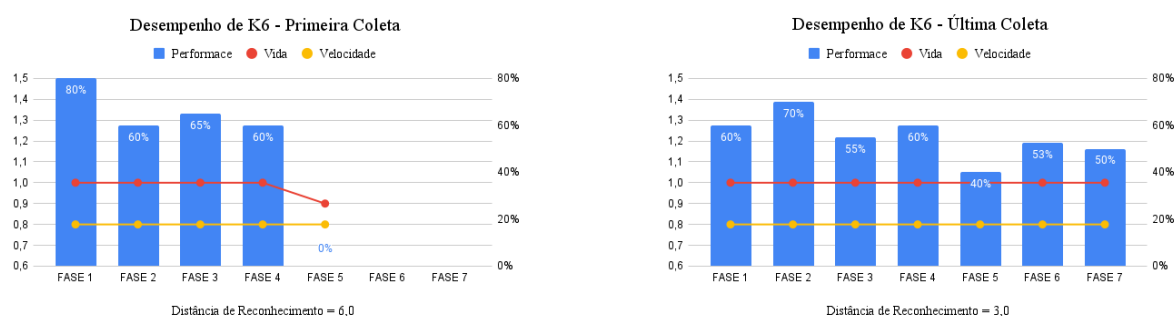
K6, uma criança do sexo feminino de 7 anos, diagnosticada com autismo moderado, apresentou estereotípias de visão periférica e ecolalia. Durante o jogo, ela demonstrou distração e estereotípias em relação à música de fundo, balançando a cabeça no ritmo da

Figura 26 – Desempenho médio de K5 por fase e modularizações de vida e velocidade



música, o que pode ter interferido em seu desempenho. No entanto, ela conseguiu concluir o jogo na coleta 7, alcançando a fase 5 em 4 das 6 coletas. O desempenho de K6 variou entre 50% e 70% nas diferentes coletas em relação aos reflexos. Ela demonstrou uma melhora gradual ao longo das coletas, alcançando uma porcentagem de acertos maior em algumas delas. Em relação à concentração, K6 obteve um desempenho constante de 60% em todas as coletas, exceto na coleta 2 em que não chegou a essa fase. No que se refere ao campo visual lateral, K6 obteve um desempenho variável entre 0% e 40% nas coletas, o que indica que ela teve dificuldades em lidar com essas demandas de atenção e coordenação. A Figura 27 mostra a média do desempenho de K6 e a modularização realizada durante a primeira e última coleta.

Figura 27 – Desempenho médio de K6 por fase e modularizações de vida e velocidade

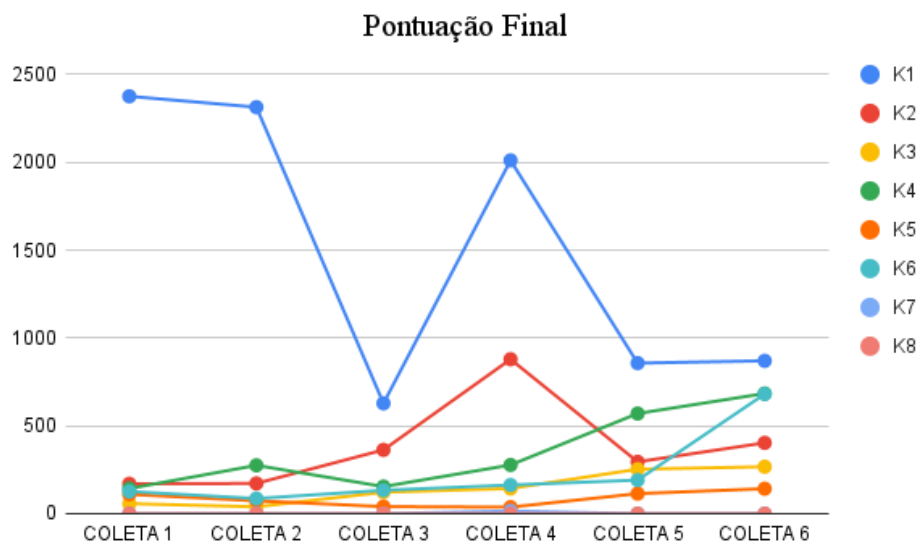


K7, um menino de 7 anos com diagnóstico de autismo moderado/grave, apresenta estereotípias de bater as mãos e visão periférica. Com bastante auxílio, ele conseguiu realizar o jogo de forma considerável apenas na coleta 4, chegando às fases de 1 a 3. Nas demais semanas, ele se limitou a realizar a fase de calibração e familiarização com ajuda. Sua modularização de vida teve valor 1 nas três fases em que ele conseguiu jogar na coleta 4, enquanto a modularização de velocidade teve os valores respectivos de 0,8, 0,7 e 0,6, indicando a necessidade de redução na velocidade dos inimigos mesmo que tenha progredido até à fase 3 do jogo.

K8, um menino de 9 anos com autismo grave e não verbal, apresenta estereotípias de bater as mãos. Essa criança não conseguiu seguir as orientações ao longo das 6 coletas, mesmo com uma distância de reconhecimento alta (valor de 8), e, portanto, não foi capaz de aprender os controles e executar o JS.

A Figura 28 exhibe os diferentes valores de pontuação registrados durante as seis sessões de coleta de dados envolvendo todas as crianças. A considerável variação observada nos valores é atribuída à influência dos multiplicadores descritos na Equação 4.3, os quais afetam diretamente o valor final dos pontos.

Figura 28 – Valores de pontuação nas sessões de coleta de dados



5 CONCLUSÃO

O uso da plataforma Unity para o desenvolvimento do JS Goblin Gold mostrou-se altamente benéfico. A flexibilidade e o poder de criação oferecidos pelo Unity permitiram o desenvolvimento de um ambiente imersivo e envolvente para as crianças com autismo, estimulando habilidades importantes como o contato visual, foco, o campo visual lateral, concentração e reflexo.

Além disso, a utilização do Face Mesh para a detecção do foco ocular dos participantes trouxe uma aplicação positiva, permitindo que o jogo se adaptasse às necessidades individuais de cada criança. A distância de reconhecimento, representada pelo tamanho das partículas no local onde a criança olha, proporcionou uma realimentação visual intuitiva sobre a precisão do foco.

No entanto, é importante reconhecer algumas limitações. Por exemplo, a presença de estereotípias e outros comportamentos repetitivos pode interferir no desempenho das crianças e na sua capacidade de se concentrar totalmente no jogo. Além disso, alguns participantes podem ter apresentado resistência ou falta de interesse no jogo, o que pode impactar a sua motivação e engajamento.

O experimento com o JS Goblin Gold demonstrou resultados variados entre as crianças com autismo avaliadas. O desempenho foi influenciado por fatores como o perfil do indivíduo, incluindo o diagnóstico de altas habilidades, a autoconfiança, as estereotípias motoras e o nível de apoio socioemocional oferecido. Esses achados reforçam a importância de abordagens personalizadas e adaptadas para promover o desenvolvimento de habilidades específicas em crianças com autismo.

Com base nos resultados e nos desafios enfrentados pelas crianças no Goblin Gold, observou-se a necessidade de desenvolver atividades e exercícios específicos para melhorar o campo visual lateral das crianças. Isso pode incluir a criação de fases adicionais no jogo que visem fortalecer essa habilidade, com inimigos surgindo em pares ou em grupos, exigindo uma maior atenção simultânea.

Além disso, talvez haja a necessidade de implementar um sistema de realimentação visual e auditiva mais claro e adaptado para ajudar as crianças a entenderem seu desempenho e identificarem áreas que precisam ser aprimoradas. Isso pode incluir indicadores visuais e sonoros que forneçam informações imediatas sobre acertos e erros.

Por fim, acredita-se que trabalhar em colaboração com profissionais da área, como terapeutas ocupacionais e psicólogos especializados em autismo, para desenvolver e aprimorar o JS pode trazer uma perspectiva clínica e terapêutica mais aprofundada, garantindo que o Goblin Gold seja efetivo e alinhado com as necessidades de cada criança com autismo. ,

REFERÊNCIAS

- ALPER, M. Critical media access studies: Deconstructing power, visibility, and marginality in mediated space. International Journal of Communication, v. 15, p. 22, 2021. Citado na página 10.
- Autism CRC. Autism CRC. 2023. <<https://www.autismcrc.com.au/>>. Citado na página 14.
- BARAJAS, A. O.; OSMAN, H. A.; SHIRMOHAMMADI, S. A serious game for children with autism spectrum disorder as a tool for play therapy. In: IEEE. 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). [S.l.], 2017. p. 1–7. Citado na página 11.
- BARNETT, J. H. Three evidence-based strategies that support social skills and play among young children with autism spectrum disorders. Early Childhood Education Journal, Springer, v. 46, n. 6, p. 665–672, 2018. Citado na página 10.
- BING, M. Criador de Imagens da Plataforma DALL-E. 2022. <<https://www.bing.com/create>>. Accessed: 2022-11-24. Citado na página 35.
- BRADSKI, G. The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000. Citado na página 38.
- BROWNLOW, C.; SVENSSON, A.; TRINDADE, I.; ROLL-PETTERSSON, L. Personalised technology: The role of self-definition in developing a user-centred design approach to digital support and services. Scandinavian Journal of Disability Research, Taylor & Francis, v. 21, n. 1, p. 120–131, 2019. Citado na página 49.
- CARVALHO, V. H.; BRANDÃO, J.; CUNHA, P.; VASCONCELOS, J.; SOARES, F. Tobias in the zoo—a serious game for children with autism spectrum disorders. International Journal of Advanced Corporate Learning, v. 8, n. 3, 2015. Citado na página 11.
- COSTA, L. R. da; CASTRO, J. Requisitos de confiança para robôs socialmente assistivos. In: WER. [S.l.: s.n.], 2021. Citado na página 16.
- ELGARF, M.; ABDENNADHER, S.; ELSHAHAWY, M. I-interact: A virtual reality serious game for eye contact improvement for children with social impairment. In: SPRINGER. Joint International Conference on Serious Games. [S.l.], 2017. p. 146–157. Citado na página 11.
- FEIL-SEIFER, D.; MATARIC, M. J. Defining socially assistive robotics. In: IEEE. 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005. [S.l.], 2005. p. 465–468. Citado na página 16.
- GARCIA-GARCIA, J. M.; CABAÑERO, M. d. M.; PENICHET, V. M.; LOZANO, M. D. Emotea: teaching children with autism spectrum disorder to identify and express emotions. In: Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–8. Citado na página 11.

- GLENNON, J. M.; D'SOUZA, H.; MASON, L.; KARMILOFF-SMITH, A.; THOMAS, M. S. Visuo-attentional correlates of autism spectrum disorder (asd) in children with down syndrome: A comparative study with children with idiopathic asd. Research in Developmental Disabilities, Elsevier, v. 104, p. 103678, 2020. Citado na página 10.
- GLORIA, A. D.; BELLOTTI, F.; BERTA, R. Serious games for education and training. International Journal of Serious Games, v. 1, n. 1, 2014. Citado na página 15.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento digital de imagem. Pearson, ISBN-10: 8576054019, v. 10, p. 11–27, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- GOOGLE. Attention Mesh: Overview of model architecture. 2022. Url https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_mesh. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 20.
- GROSSARD, C.; HUN, S.; DAPOGNY, A.; JUILLET, E.; HAMEL, F.; JEAN-MARIE, H.; BOURGEOIS, J.; PELLERIN, H.; FOULON, P.; SERRET, S. et al. Teaching facial expression production in autism: The serious game jemime. Creative Education, Scientific Research Publishing, v. 10, n. 11, p. 2347, 2019. Citado na página 11.
- HAAS, J. K. A history of the unity game engine. Worcester Polytechnic Institute, 2014. Citado na página 19.
- HEINS, S.; DEHEM, S.; MONTEDORO, V.; DEHEZ, B.; EDWARDS, M.; STOQUART, G.; ROCCA, F.; DEKEN, P. D.; MANCAS, M.; LEJEUNE, T. Robotic-assisted serious game for motor and cognitive post-stroke rehabilitation. In: 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–8. Citado na página 15.
- JÁCOME, J.; GOMES, A.; COSTA, W. d. L.; FIGUEIREDO, L. S.; ABREU, J.; PORCIUNCULA, L.; BRANT, P. K.; ALVES, L. E.; CORREIA, W. F.; TEICHRIEB, V. et al. Parallax engine: Head controlled motion parallax using notebooks' rgb camera. In: Symposium on Virtual and Augmented Reality. [S.l.: s.n.], 2021. p. 137–146. Citado na página 19.
- JANTUNEN, T.; MESCH, J.; PUUPPONEN, A.; LAAKSONEN, J. On the rhythm of head movements in finnish and swedish sign language sentences. In: . [S.l.: s.n.], 2016. p. 850–853. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 37.
- JOHNSON, B. A.; SMITH, T.; MUNDY, P. Graduated exposure for children with autism spectrum disorders: A pilot study. Journal of Autism and Developmental Disorders, Springer, v. 46, n. 7, p. 2445–2456, 2016. Citado na página 48.
- JOHNSON, C. P.; MYERS, S. M.; DISABILITIES, C. on Children with. Identification and evaluation of children with autism spectrum disorders. Pediatrics, American Academy of Pediatrics, v. 120, n. 5, p. 1183–1215, 2007. Citado na página 14.
- KOEGEL, L. K.; KOEGEL, R. L. Pivotal response treatment: Current perspectives. Psychology Research and Behavior Management, Dove Medical Press, v. 6, p. 23–31, 2013. Citado na página 49.
- LAURITSEN, M. B. Autism spectrum disorders. European child & adolescent psychiatry, Springer, v. 22, n. 1, p. 37–42, 2013. Citado na página 14.

LORD, C.; BRUGHA, T. S.; CHARMAN, T.; CUSACK, J.; DUMAS, G.; FRAZIER, T.; JONES, E. J.; JONES, R. M.; PICKLES, A.; STATE, M. W. et al. Autism spectrum disorder. Nature reviews Disease primers, Nature Publishing Group, v. 6, n. 1, p. 1–23, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 14.

LORD, C.; ELSABBAGH, M.; BAIRD, G.; VEENSTRA-VANDERWEELE, J. Autism spectrum disorder. The lancet, Elsevier, v. 392, n. 10146, p. 508–520, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 10, 14 e 15.

LUGARESI, C.; TANG, J.; NASH, H.; MCCLANAHAN, C.; UBOWEJA, E.; HAYS, M.; ZHANG, F.; CHANG, C.-L.; YONG, M. G.; LEE, J.; CHANG, W.-T.; HUA, W.; GEORG, M.; GRUNDMANN, M. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. arXiv, 2019. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1906.08172>>. Citado na página 19.

MAENNER, M. J.; SHAW, K. A.; BAKIAN, A. V.; BILDER, D. A.; DURKIN, M. S.; ESLER, A.; FURNIER, S. M.; HALLAS, L.; HALL-LANDE, J.; HUDSON, A. et al. Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, united states, 2018. MMWR Surveillance Summaries, Centers for Disease Control and Prevention, v. 70, n. 11, p. 1, 2021. Citado na página 14.

MEIRELLES, T. d. O. M. et al. Revisão sistemática sobre características e eficácia de jogos sérios para pessoas com autismo. Universidade Federal de Uberlândia, 2022. Citado na página 47.

MÜLLER, M. Camera Re-Localization with Data Augmentation by Image Rendering and Image-to-Image Translation. Tese (Doutorado), 04 2020. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 38.

NEGRI, Y. R.; PANCERI, J. A. C.; FREITAS, E. V. S.; SCHREIDER, S. L.; CALDEIRA, E.; BASTOS-FILHO, T. F. Proposal of serious games for a socially assistive robot based on eye contact and visual attention of children with autism spectrum disorder. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. Florianópolis, SC: [s.n.], 2022. Citado na página 37.

O'REILLY, M. F.; SIGAFOOS, J.; LANCIONI, G. E.; GREEN, V. A.; FOLEY, K.; SUTHERLAND, D.; SUTHERLAND, D.; LANG, R. Impact of motor stereotypy on cognition in children with autism spectrum disorder. Journal of Developmental and Physical Disabilities, Springer, v. 29, n. 1, p. 59–71, 2017. Citado na página 48.

PANCERI, J. A. C.; FREITAS, ; SOUZA, J. C. de; SCHREIDER, S. da L.; CALDEIRA, E.; BASTOS, T. F. A new socially assistive robot with integrated serious games for therapies with children with autism spectrum disorder and down syndrome: A pilot study. Sensors, v. 21, n. 24, 2021. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/24/8414>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 15 e 16.

PANCERI, J. A. C.; FREITAS, ; SOUZA, J. C. de; SCHREIDER, S. da L.; CALDEIRA, E.; FILHO, T. F. B. Proposal of a new socially assistive robot with embedded serious games for therapy with children with autistic spectrum disorder and down syndrome. In: SPRINGER. Brazilian Congress on Biomedical Engineering. [S.l.], 2022. p. 1399–1405. Citado na página 16.

PARIS, S. G. Reinterpreting the development of reading skills. Reading research quarterly, Wiley Online Library, v. 40, n. 2, p. 184–202, 2005. Citado na página 45.

ROGLIĆ, M.; BOBIĆ, V.; DJURIĆ-JOVIČIĆ, M.; DJORDJEVIĆ, M.; DRAGAŠEVIĆ, N.; NIKOLIĆ, B. Serious gaming based on kinect technology for autistic children in serbia. In: IEEE. 2016 13th symposium on neural networks and applications (neurel). [S.l.], 2016. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 15.

SALOMON, G. The differential investment of mental effort in learning from different sources. Educational psychologist, Taylor & Francis, v. 18, n. 1, p. 42–50, 1983. Citado na página 45.

SCHREIDER, S. da L.; PANCERI, J. A. C.; BASTOS-FILHO, T. F.; FREITAS, É. V. da S.; SOUZA, J. C. de; CALDEIRA, E. M. de O. Proposal of games for children and teenagers with down syndrome applied to a socially assistive robot. balance, v. 7, p. 8, 2021. Citado na página 16.

SMITH, R.; SCHWIRZKE, M. Designing serious games for individuals with autism. Multimodal Technologies and Interaction, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 1, n. 3, 2017. Citado na página 50.

STEGE, L.; LANKVELD, G. V.; SPRONCK, P. Serious games in education. International Journal of Computer Science in Sport, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2011. Citado na página 15.

SUSI, T.; JOHANNESSON, M.; BACKLUND, P. Serious games: An overview. Institutionen för kommunikation och information, 2007. Citado na página 15.

TANAKA, J. W.; WOLF, J. M.; KLAIMAN, C.; KOENIG, K.; COCKBURN, J.; HERLIHY, L.; BROWN, C.; STAHL, S.; KAISER, M. D.; SCHULTZ, R. T. Using computerized games to teach face recognition skills to children with autism spectrum disorder: the let's face it! program. Journal of Child Psychology and Psychiatry, Wiley Online Library, v. 51, n. 8, p. 944–952, 2010. Citado na página 15.

VALENCIA, N.; et al. Serious game for post-stroke upper limb rehabilitation. Converging clinical and engineering research on neurorehabilitation II. Berlin: Springer, p. 1445–1450, 2017. Citado na página 15.

VIVANTI, G.; DISSANAYAKE, C.; DUNCAN, E.; FEARY, J.; CAPES, K.; UPSON, S.; BENT, C. A.; ROGERS, S. J.; HUDRY, K. Outcomes of children receiving group-early start denver model in an inclusive versus autism-specific setting: A pilot randomized controlled trial. Autism, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 23, n. 5, p. 1165–1175, 2019. Citado na página 15.

WHYTE, E. M.; SMYTH, J. M.; SCHERF, K. S. Designing serious game interventions for individuals with autism. Journal of autism and developmental disorders, Springer, v. 45, n. 12, p. 3820–3831, 2015. Citado na página 15.

ZHAO, Z.; LIU, Q.; ZHOU, F. Robust lightweight facial expression recognition network with label distribution training. In: Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. [S.l.: s.n.], 2021. v. 35, n. 4, p. 3510–3519. Citado na página 20.