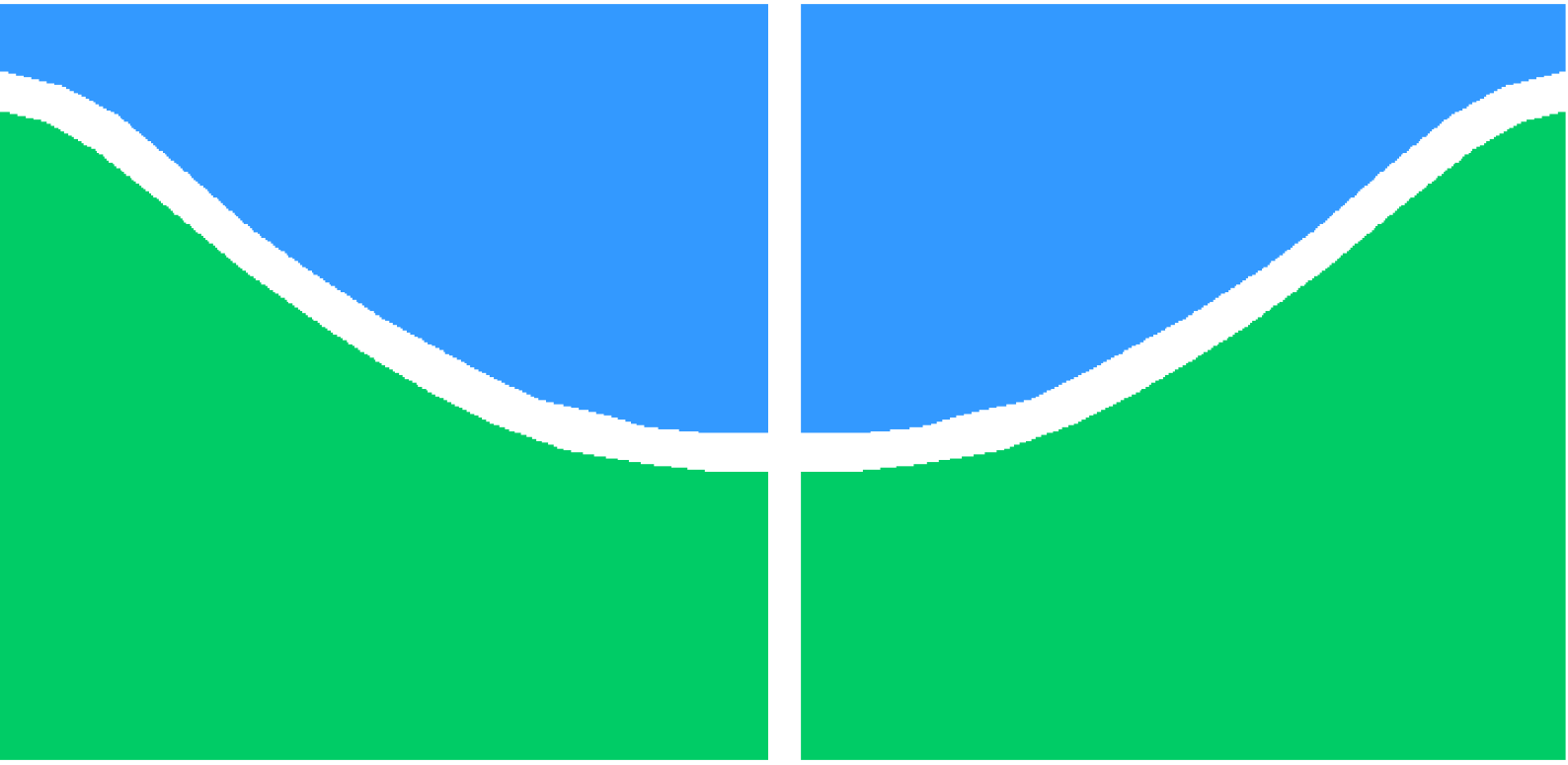


Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia - FCTE

Engenharia de Software

Interface Tangível e Realidade Aumentada no Ensino de Pensamento Computacional: Inclusão para Crianças com TEA/TPS

Autores: Lucas Lopes Rocha
Gabriel da Silva Rosa

Orientador: Me. Eduardo G. Q. Palmeira

Brasília, DF

2025



Lucas Lopes Rocha
Gabriel da Silva Rosa

Interface Tangível e Realidade Aumentada no Ensino de Pensamento Computacional: Inclusão para Crianças com TEA/TPS

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia - FCTE

Orientador: Me. Eduardo G. Q. Palmeira

Brasília, DF

2025

Lucas Lopes Rocha
Gabriel da Silva Rosa
Interface Tangível e Realidade Aumentada no Ensino de Pensamento Computacional: Inclusão para Crianças com TEA/TPS/ Lucas Lopes Rocha
Gabriel da Silva Rosa. – Brasília, DF, 2025-
119 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Me. Eduardo G. Q. Palmeira

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia - FCTE , 2025.

1. Interface Tangível do Usuário. 2. Realidade Aumentada. 3. Pensamento Computacional. 4. Transtorno do Espectro Autista. 5. Transtorno de Processamento Sensorial. I. Me. Eduardo G. Q. Palmeira. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia. IV. Interface Tangível e Realidade Aumentada no Ensino de Pensamento Computacional: Inclusão para Crianças com TEA/TPS

CDU 02:141:005.6

Lucas Lopes Rocha
Gabriel da Silva Rosa

Interface Tangível e Realidade Aumentada no Ensino de Pensamento Computacional: Inclusão para Crianças com TEA/TPS

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 16 de dezembro de 2025:

Me. Eduardo G. Q. Palmeira
Orientador

Dr. André Barros de Sales
Convidado 1

Dr. Alexandre Gomes de Siqueira
Convidado 2

Brasília, DF
2025

Agradecimentos

Eu, **Lucas Lopes Rocha**, agradeço primeiramente a Deus por me conceder a oportunidade de cursar e concluir a graduação em Engenharia de Software na universidade em que sempre sonhei estudar. Sou grato pela força e pela resiliência que Ele me proporcionou para superar os momentos mais desafiadores desses cinco anos, inclusive aqueles em que duvidei de mim mesmo. Agradeço à minha família, que me educou, me acolheu nas dificuldades e sempre me incentivou a seguir em frente. Aos colegas de curso, que contribuíram para a minha jornada e tornaram o caminho mais leve, deixo meu sincero reconhecimento. Expresso também minha profunda gratidão ao Gabriel Rosa, que caminhou ao meu lado durante todos esses anos, compartilhando a maioria dos projetos, aprendizados e desafios. É uma honra encerrar nossa trajetória acadêmica conjunta com um trabalho tão significativo como este.

Eu, **Gabriel da Silva Rosa**, agradeço primeiramente a Deus, pela graça de concluir esta etapa e pela força na perseverança. Aos meus pais, pelo apoio e incentivo que foram a base de toda a minha trajetória educacional. À Comunidade Católica Shalom, minha gratidão pelas orações e pela formação humana, profissional e acadêmica que me constituem hoje. Agradeço aos meus amigos de faculdade, por todo o apoio, incentivo e pela caminhada lado a lado. A presença de vocês foi importante na reta final deste trabalho. Deixo um agradecimento especial a Lucas Lopes, pela parceria neste TCC e que se fez presente em todos os projetos que abraçamos juntos. Muito do que foi construído aqui se deve à nossa colaboração.

Agradecemos imensamente a Yan Matheus Santa Brígida de Aguiar, graduando em Engenharia de Software pela Universidade de Brasília (UnB), pelo apoio ao longo do desenvolvimento deste trabalho e pelo genuíno interesse em dar continuidade ao projeto. Sua colaboração foi fundamental para o amadurecimento da proposta e para a realização de uma entrega consistente e de qualidade deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão ao nosso professor orientador, Eduardo Palmeira, que esteve ao nosso lado durante toda essa jornada do Trabalho de Conclusão de Curso. Seu apoio constante, paciência e disponibilidade foram fundamentais para que conseguíssemos avançar com segurança e confiança em cada etapa, tornando o processo mais tranquilo. Mais do que orientar, ele nos ensinou, incentivou e nos ajudou a amadurecer nossas ideias, sempre com escuta atenta e conselhos valiosos. Somos especialmente gratos por ter nos apresentado a ideia inicial do tema, que se transformou em algo pelo qual nos envolvemos profundamente e que fez todo sentido com aquilo que acreditamos e buscamos como futuros profissionais. Obrigado por acreditar em nosso potencial e

caminhar conosco até aqui.

"Comece fazendo o que é necessário,
depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o impossível."
(São Francisco de Assis)

Resumo

O ensino de Pensamento Computacional (PC) tem se consolidado como uma competência essencial na educação básica. Contudo, abordagens pedagógicas tradicionais frequentemente não atendem às necessidades de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno do Processamento Sensorial (TPS), que se beneficiam de experiências de aprendizagem concretas, visuais e multissensoriais. Embora a literatura explore o uso de tecnologias como Interfaces Tangíveis do Usuário (TUIs) e Realidade Aumentada (RA) no contexto da educação inclusiva, ainda são escassas as propostas que integrem essas abordagens de forma conjunta e direcionada a esse público específico. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo propor, desenvolver e testar um protótipo de solução educacional que associa Interface Tangível do Usuário e Realidade Aumentada projetada para o ensino de conceitos de lógica booleana, como parte do Pensamento Computacional, a crianças com TEA ou TPS. Para isso, adotou-se o método de Design Centrado no Usuário (DCU), iniciando-se com uma revisão bibliográfica para compreensão das características do público-alvo e definição dos requisitos do sistema. A partir desses requisitos, foi projetada e implementada uma aplicação interativa na qual a criança utiliza artefatos tangíveis físicos para montar circuitos lógicos em uma matriz projetada, recebendo *feedback* visual por meio de RA projetada e reconhecimento por visão computacional. O protótipo desenvolvido foi submetido a testes de funcionamento e validação técnica, permitindo identificar limitações, avaliar o comportamento do sistema frente a diferentes cenários de uso e verificar o atendimento aos requisitos estabelecidos. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da proposta e indicam seu potencial como ferramenta de apoio ao ensino inclusivo, promovendo maior autonomia, engajamento e acessibilidade no processo de aprendizagem de crianças neurodivergentes por meio da integração de tecnologias emergentes.

Palavras-chave: Interface Tangível do Usuário. Realidade Aumentada. Pensamento Computacional. Transtorno do Espectro Autista. Transtorno de Processamento Sensorial.

Abstract

The teaching of Computational Thinking (CT) has become established as an essential competency in basic education. However, traditional pedagogical approaches often fail to meet the needs of children with Autism Spectrum Disorder (ASD) and Sensory Processing Disorder (SPD), who benefit from concrete, visual, and multisensory learning experiences. Although the literature explores the use of technologies such as Tangible User Interfaces (TUIs) and Augmented Reality (AR) in inclusive education, there is still a lack of proposals that jointly integrate these approaches and specifically target this audience. In this context, this work aimed to propose, develop, and test a prototype of an educational solution that combines Tangible User Interfaces and projected Augmented Reality for teaching Boolean logic concepts as part of Computational Thinking to children with ASD or SPD. To achieve this, a User-Centered Design (UCD) methodology was adopted, beginning with a literature review to understand the characteristics of the target audience and to define system requirements. Based on these requirements, an interactive application was designed and implemented in which children use physical tangible artifacts to assemble logical circuits on a projected matrix, receiving visual feedback through projected AR and recognition via computer vision. The developed prototype was subjected to functional tests and technical validation, allowing the identification of limitations, the evaluation of system behavior under different usage scenarios, and the verification of compliance with the established requirements. The results demonstrate the technical feasibility of the proposal and indicate its potential as a supportive tool for inclusive education, promoting greater autonomy, engagement, and accessibility in the learning process of neurodivergent children through the integration of emerging technologies.

Key-words: Tangible User Interface. Augmented Reality. Computational Thinking. Autism Spectrum Disorder. Sensory Processing Disorder.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de sala de tratamento para TPS com elementos para estimulação. 35
Figura 2 – Interação com RA projetada e blocos tangíveis. 39
Figura 3 – Etapas do Design Centrado no Usuário 47
Figura 4 – Organização das tarefas no ClickUp 51
Figura 5 – Exemplo de matriz de fases iniciais com porta lógica E (*AND*) 53
Figura 6 – Tela de tutorial em trecho inicial 63
Figura 7 – Fase de noite, com vento e tamanho de fonte médio 64
Figura 8 – Fase de dia, sem vento e tamanho de fonte grande 64
Figura 9 – Interface de criação do Aseprite 65
Figura 10 – Portas AND, OR e NOT modeladas 67
Figura 11 – Porta AND em sua forma final 67
Figura 12 – Porta OR em sua forma final 68
Figura 13 – Porta NOT em sua forma final 68
Figura 14 – Turbina eólica e placa solar modeladas 69
Figura 15 – Turbina eólica em sua forma final 70
Figura 16 – Placa solar em sua forma final 70
Figura 17 – Configurações de volume em sua forma final 71
Figura 18 – Configurações de brilho em sua forma final 72
Figura 19 – Configurações de tamanho de fonte em sua forma final 72
Figura 20 – Configurações de cor em sua forma final 72
Figura 21 – Exemplos de gestos identificados pelo MediaPipe 74
Figura 22 – Artefatos tangíveis próprios identificados 77
Figura 23 – Matriz de confusão normalizada 79
Figura 24 – Zonas de reconhecimento na fase 80
Figura 25 – Estrutura modelada no Autodesk Fusion 81
Figura 26 – Placa de alumínio e de inserção de ímãs 82
Figura 27 – Acrílico branco para projeção da imagem 83
Figura 28 – Estrutura inteira 84

Lista de tabelas

Tabela 1 – Cronograma Geral (TCC1) 48
Tabela 2 – Cronograma Geral (TCC2) 49
Tabela 3 – Requisitos do Usuário: Necessidades Cognitivas e de Aprendizagem . . 57
Tabela 4 – Requisitos de Usuário: Necessidades Sensoriais e de Acessibilidade . . . 58
Tabela 5 – Requisitos do Usuário: Necessidades Emocionais e de Engajamento . . 58
Tabela 6 – Requisitos Não Funcionais 59
Tabela 7 – Requisitos Funcionais 60
Tabela 8 – Cronograma de Escrita (TCC1) 103
Tabela 9 – Cronograma de Desenvolvimento (TCC2) 104
Tabela 10 – Casos de teste de navegação pelo tutorial 105
Tabela 11 – Casos de teste de navegação na fase 107
Tabela 12 – Casos de teste de configuração 109
Tabela 13 – Casos de teste da lógica da fase 112
Tabela 14 – Casos de teste de detecção e reconhecimento 116
Tabela 15 – Casos de teste de limites 117
Tabela 16 – Casos de teste de interface e feedback visual 118

Lista de abreviaturas e siglas

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CNE	Conselho Nacional de Educação
DCU	Design Centrado no Usuário
DSM-5	Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais
GUI	Interface Gráfica de Usuário
ID	Identificação
IHC	Interação Humano-Computador
KA	Área de Conhecimento
MEC	Ministério da Educação
ML	Machine Learning
ONU	Organização das Nações Unidas
PC	Pensamento Computacional
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Mista
RV	Realidade Virtual
RF	Requisito Funcional
RNF	Requisito Não Funcional
RU	Requisito do Usuário
RU-C	Requisito do Usuário - Cognitivo
RU-E	Requisito do Usuário - Emocional
RU-S	Requisito do Usuário - Sensorial
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TDAH	Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade

TEA	Transtorno do Espectro Autista
TPS	Transtorno do Processamento Sensorial
TMBS	Transtornos Motores de Base Sensorial
TUI	Interface Tangível do Usuário

Sumário

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 Contextualização 16
1.2 Problema da Pesquisa 17
1.3 Justificativa 19
1.4 Objetivos 20
1.5 Estrutura do Trabalho 21

2 REFERENCIAL TEÓRICO 22
2.1 Pensamento Computacional 22
2.1.1 Conceito e Contextualização 22
2.1.2 Componentes do Pensamento Computacional 23
2.1.3 Pensamento Computacional na Educação 23
2.1.4 A Diversidade Cognitiva no Aprendizado do PC 25
2.2 Transtorno do Espectro Autista 25
2.2.1 Conceito e Contextualização 25
2.2.2 Níveis de Gravidade para o TEA 26
2.2.2.1 Nível 1 – Requer Apoio 26
2.2.2.2 Nível 2 – Requer Apoio Substancial 26
2.2.2.3 Nível 3 – Requer Apoio Muito Substancial 27
2.2.3 Etiologia e Fatores de Risco 27
2.2.4 Desenvolvimento e Aprendizado em Crianças com TEA 28
2.3 Transtorno do Processamento Sensorial 29
2.3.1 Processamento Sensorial (ou Integração Sensorial) 29
2.3.2 Transtorno do Processamento Sensorial 30
2.3.2.1 Impactos do TPS no Desenvolvimento e Qualidade de Vida 31
2.3.3 Tratamento do Transtorno do Processamento Sensorial 34
2.3.4 Transtorno do Processamento Sensorial em Relação ao Autismo 37
2.4 Interface Tangível e Realidade Aumentada 38
2.5 Trabalhos Relacionados 40

3 METODOLOGIA 43
3.1 Caracterização da Pesquisa 43
3.1.1 Abordagem da Pesquisa 43
3.1.2 Natureza da Pesquisa 43
3.1.3 Procedimentos Metodológicos 44

3.2 Público-alvo . . . 45
3.2.1 Crianças com Transtorno do Espectro Autista . . . 45
3.2.2 Crianças com Transtorno do Processamento Sensorial . . . 45
3.2.3 Relevância do Recorte . . . 46
3.3 Método: Design Centrado no Usuário . . . 46
3.3.1 Etapas do Design Centrado no Usuário . . . 46
3.3.2 Considerações Sobre a Escolha do Método . . . 48
3.4 Planejamento e Ferramentas . . . 48
3.4.1 Cronogramas . . . 48
3.4.2 Ferramentas . . . 49

4 PLANEJAMENTO DA PROPOSTA . . . 52
4.1 Explicação da Proposta . . . 52
4.2 Levantamento de Requisitos . . . 54
4.2.1 Perfil do Usuário: Compreendendo a Criança com TEA ou TPS . . . 54
4.2.2 Requisitos de Usuário . . . 57
4.3 Requisitos Funcionais e Não Funcionais . . . 59

5 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO . . . 61
5.1 O Jogo . . . 61
5.1.1 Storytelling e Conceito . . . 61
5.1.2 Estrutura e Funcionamento . . . 62
5.1.3 Telas e Navegação . . . 62
5.1.4 Interface e Configurações . . . 64
5.2 Artefatos Tangíveis . . . 66
5.2.1 Portas Lógicas . . . 66
5.2.2 Inputs (Fontes de Energia) . . . 69
5.2.3 Artefatos de Configuração . . . 71
5.2.4 Conjunto Total de Artefatos . . . 73
5.3 Visão Computacional: Reconhecimento de Gestos e Objetos . . . 73
5.3.1 Arquitetura e Funcionamento Geral . . . 73
5.3.2 Ferramentas Utilizadas . . . 73
5.3.2.1 MediaPipe . . . 73
5.3.2.2 YOLO . . . 74
5.3.2.3 OpenCV . . . 75
5.3.3 Treinamento do Modelo de Detecção de Objetos . . . 75
5.3.3.1 Treinamento do Modelo YOLOv8 . . . 77
5.3.4 Validação de Gestos e Objetos . . . 79
5.4 Estrutura . . . 80

6 VALIDAÇÃO E TESTES 85
6.1 Categorias 85
6.1.1 Navegação no Tutorial 85
6.1.2 Navegação na Fase 85
6.1.3 Configurações 85
6.1.4 Lógica da Fase 86
6.1.5 Detecção e Reconhecimento 86
6.1.6 Limites 86
6.1.7 Interface e Feedback Visual 86
6.2 Limitações do Sistema 87

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 88
7.1 Resultados Esperados 88
7.2 Melhorias e Trabalhos Futuros 90
7.3 Conclusão 92

REFERÊNCIAS 94

APÊNDICES 102

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO CRONOGRAMA DO TCC1 103

APÊNDICE B – DETALHAMENTO DO CRONOGRAMA DO TCC2 104

APÊNDICE C – TESTES DE NAVEGAÇÃO NO TUTORIAL . . . 105

APÊNDICE D – TESTES DE NAVEGAÇÃO NA FASE 107

APÊNDICE E – TESTES DE CONFIGURAÇÃO 109

APÊNDICE F – TESTES DE LÓGICA DA FASE 112

APÊNDICE G – TESTES DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO 116

APÊNDICE H – TESTES DE LIMITES 117

APÊNDICE I – TESTES DE INTERFACE E FEEDBACK VISUAL 118

1 Introdução

1.1 Contextualização

O cenário educacional contemporâneo é caracterizado por transformações contínuas, impulsionadas tanto pelos avanços tecnológicos quanto pelo crescente reconhecimento da diversidade humana no ambiente escolar. Alinhado a isso, um dos objetivos da agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) é *"Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos"* (Objetivo 4) (ONU, 2015). Mais especificamente, esse objetivo abrange metas destinadas a garantir acesso igualitário em todas as fases da educação e a assegurar que o ensino infantil, fundamental e médio promovam resultados de aprendizagem satisfatórios, envolvendo o desenvolvimento de habilidades e competências técnicas e profissionais relevantes.

O sistema de educação brasileiro, alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da ONU, elaborou a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) pelo Ministério da Educação (MEC). Este é um documento normativo elaborado por especialistas de diferentes áreas do conhecimento, o qual estabelece as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem obter durante a Educação Básica (MEC, 2018). A construção deste documento estendeu-se por vários anos através de um processo colaborativo que envolveu ampla participação de diversos atores sociais e educacionais para assegurar sua legitimidade e adequação à realidade educacional brasileira.

A versão preliminar desse documento, divulgada em 2015, foi elaborada por equipes formadas pela Secretaria de Educação Básica (MEC, 2015). Esta proposta inicial tinha como objetivo indicar caminhos de aprendizado e desenvolvimento para estudantes na Educação Básica e foi submetida a consultas extensivas e debates públicos. Foi posteriormente aprimorada através de discussões e críticas, com a participação de estudantes, seus pais ou responsáveis, professores da Educação Básica e do Ensino Superior, além de organizações como sociedades científicas, associações e redes de ensino. Também houve contribuições de relatórios e pareceres de leitores críticos, associações científicas e pesquisadores universitários externos ao comitê de assessores e especialistas. Tal processo visou apresentar a BNCC, mobilizar redes, fomentar debates, esclarecer dúvidas e identificar componentes para ajustar a proposta, culminando na publicação da segunda versão do documento no ano seguinte (MEC, 2016).

Em 2018, a BNCC foi finalizada, incluindo também o Ensino Médio. O documento destaca aprendizagens essenciais e orienta a construção de conhecimentos, desenvolvi-

mento de habilidades e formação de atitudes e valores para capacitar os estudantes a lidar com desafios complexos da vida cotidiana (MEC, 2018). Complementando a BNCC, após quatro anos, foi apresentado um parecer que trata da computação na Educação Infantil, no Ensino Fundamental e Médio, estabelecendo os conteúdos e competências relacionadas à educação digital que devem ser ensinados nas escolas. (MEC, 2022).

Esse documento complementar estrutura a educação digital de forma diferenciada em cada etapa de ensino (MEC, 2022). Na Educação Infantil, trabalha-se com objetivos de aprendizagem organizados em três eixos, sendo eles Pensamento Computacional (PC), Mundo Digital e Cultura Digital. O Ensino Fundamental desenvolve competências através de habilidades definidas, mantendo a mesma divisão nos três eixos. Já o Ensino Médio foca em competências específicas, sem essa divisão por eixos.

Enquanto os eixos Mundo Digital e Cultura Digital buscam formar cidadãos competentes em aspectos técnicos, funcionais e sociais das tecnologias para uso consciente e ético na sociedade contemporânea, o PC busca desenvolver formas de pensamento estruturado aplicáveis em várias áreas do conhecimento, além da informática (MEC, 2022). Assim, o PC configura-se como uma estratégia para a formação de indivíduos autônomos, críticos e criativos, capazes de solucionar problemas, analisar situações e desenvolver estratégias de forma estruturada. Conforme conceituado por Wing (2006), o PC é um processo mental que engloba habilidades de formulação, modelagem e resolução de problemas com base em conceitos da ciência da computação, sendo reconhecido por sua vasta aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento.

Vale notar que o ensino de PC não se restringe ao uso de computadores ou linguagens de programação. Conforme argumentam Valente (2016) e Brackmann et al. (2019), o seu desenvolvimento pode ocorrer por meio de atividades "desplugadas", como jogos de tabuleiro, desafios lógicos e tarefas manuais. Esta característica viabiliza sua aplicação em múltiplos contextos educacionais, incluindo escolas com infraestrutura tecnológica limitada. A flexibilidade das abordagens direcionadas ao PC torna-o particularmente adequado à educação inclusiva, pois possibilita adaptações didáticas que respeitam os diferentes estilos cognitivos dos alunos, incluindo aqueles com dificuldades sensoriais, cognitivas ou de comunicação (BALBINO et al., 2023).

1.2 Problema da Pesquisa

Diante desse contexto, evidencia-se a importância da adoção de práticas pedagógicas inclusivas, capazes de acolher e respeitar as múltiplas formas de aprendizagem, percepção e interação (ONU, 2015). Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é motivado, especialmente, pela inclusão de crianças diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno do Processamento Sensorial (TPS). Esses transtornos repre-

sentam um desafio proeminente, demandando abordagens pedagógicas que transcendem os métodos de ensino tradicionais (AYRES; ROBBINS, 2005).

Estudantes com tais condições frequentemente enfrentam barreiras na adaptação às dinâmicas escolares convencionais, seja devido a limitações na comunicação e interação social — características do TEA —, ou por dificuldades na interpretação e regulação de estímulos sensoriais — inerentes ao TPS (MILLER et al., 2007). Essas barreiras podem comprometer não apenas o desempenho acadêmico e a permanência em sala de aula, mas também a experiência afetiva e subjetiva do estudante no ambiente escolar. Consequentemente, a reavaliação do currículo e dos recursos educacionais emerge como uma demanda de natureza não apenas técnica, mas também ética e social.

Ao se abordar a aprendizagem de crianças com TEA ou TPS (ou ambos), torna-se evidente a relevância de tecnologias que proporcionem experiências sensoriais controladas e interativas, como as Interfaces Tangíveis do Usuário (TUIs – *Tangible User Interfaces*) e a Realidade Aumentada (RA). As TUIs permitem que os aprendizes interajam fisicamente com objetos que representam informações digitais, de forma a promover a construção de significado por meio de manipulação concreta (ISHII; ULLMER, 1997). Por sua vez, a RA é uma tecnologia que adiciona elementos virtuais sobrepostos ao ambiente físico (AZUMA, 1997), oferecendo uma experiência de aprendizagem visualmente rica e, quando adequadamente aplicada, adaptável aos limites sensoriais dos usuários (SIQUEIRA; FEIJóO-GARCíA; STANLEY, 2021). A combinação de TUIs e RA pode, portanto, ampliar as possibilidades de mediação pedagógica, tornando o conteúdo mais acessível, lúdico e significativo, especialmente para crianças com dificuldades de abstração ou linguagem.

As pesquisas de Siqueira, Feijóo-García e Stanley (2021), Balbino et al. (2023) e Oswald et al. (2023) corroboram o potencial de tecnologias para a educação geral e neurodivergente, indicando que recursos interativos promovem maior engajamento, favorecem a atenção focada e contribuem para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e socioemocionais. Não obstante, a maioria das propostas existentes ainda aborda esses temas de forma fragmentada, focando em subconjuntos dos pilares deste trabalho, como a união de tecnologias imersivas e o ensino de PC sem o foco em públicos neurodivergentes (SIQUEIRA; FEIJóO-GARCíA; STANLEY, 2021; SIQUEIRA et al., 2021), o ensino de PC para crianças com TEA por meios tangíveis mas sem RA (BALBINO et al., 2023), ou o uso de tecnologias para crianças com TEA/TPS sem o foco em PC (SILVA; BISSACO, 2022; ROSSI, 2016). Além disso, os autores deste trabalho não identificaram na literatura propostas que integrassem o uso de RA associada às TUIs com foco específico no ensino de conceitos de PC e considerando especialmente a inclusão de crianças com TEA ou TPS (ou ambos).

Levando em consideração as oportunidades de pesquisa especificadas, este TCC

tem como objetivo abordar o seguinte problema de pesquisa:

> *"Como integrar TUI e RA em uma ferramenta de ensino de Pensamento Computacional que contemple os requisitos de acessibilidade de crianças com TEA ou TPS?"*

1.3 Justificativa

A justificativa para esta pesquisa é multifacetada, abrangendo tanto a perspectiva de Interação Humano-Computador (IHC) quanto a da Engenharia de Software. Furtado et al. (2017) mapearam as contribuições brasileiras em IHC para tecnologias emergentes, identificando avanços em sistemas ubíquos, múltiplos dispositivos e interfaces tangíveis, além de apresentar sugestões para continuidade das pesquisas na área. Do ponto de vista de IHC, a proposta alinha-se diretamente aos problemas e soluções discutidos no trabalho.

Para as Instituições de Ensino, a pesquisa aborda o desafio de "como professores podem explorar as experiências hedônicas dos alunos proporcionadas pelas tecnologias Ubíquas, Múltiplos Dispositivos (MD), realidade aumentada e tangíveis para inovar os modelos de ensino/aprendizagem" (FURTADO et al., 2017). A aplicação proposta oferece uma solução tangível para o problema de "Instituições têm dificuldades na adoção de equipamentos, dispositivos e tecnologias de acesso em consonância com seus preceitos pedagógicos", ao focar no "Desenvolvimento de ferramentas e/ou dispositivos com base nos objetivos pedagógicos da escola", visando o aprendizado dos alunos (FURTADO et al., 2017).

Para os Projetistas de IHC e Projetistas de Interface, o trabalho busca ganhos efetivos através da "adaptação de interfaces e conteúdos de sistemas em cenários de uso de tecnologias ubíquas, MD, realidade aumentada e tangíveis" (FURTADO et al., 2017). A proposta contribui para a "definição de serviços (modelos, metáforas, mecanismos de interação e soluções integradas) que permitam ser facilmente incorporados em sistemas adaptativos", avaliando a efetividade dessas adaptações em diversos cenários de uso de tecnologia (FURTADO et al., 2017). A pesquisa também se insere no contexto do "Desafio 3: Ubiquidade, Múltiplos Dispositivos e Tangibilidade" do GranDIHC-BR, que enfatiza o desenvolvimento de novos dispositivos através de tecnologias emergentes como sistemas ubíquos e interfaces de usuário tangíveis, com o objetivo de aumentar a qualidade de uso, considerando aspectos imersivos e de engajamento (FURTADO et al., 2017). O foco na neurodiversidade demonstra a preocupação em atender a diversidade de usuários, mesmo com os desafios para evitar a perda de inclusão ou interatividade. A pesquisa também explora as TUIs, que permitem criar e manipular informações digitais através de objetos físicos, eletrônicos ou não, explorando o tato e a visão, o que tem sido uma área de

investigação relevante no contexto educacional inclusivo (FURTADO et al., 2017).

Do ponto de vista da Engenharia de Software, a presente pesquisa se fundamenta nos princípios e nas áreas de conhecimento (KAs) estabelecidas pelo *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge* (SWEBOK Guide) (WASHIZAKI, 2024). A Engenharia de Software é definida como a "aplicação de uma abordagem sistemática, disciplinada e quantificável para o desenvolvimento, operação e manutenção de software" (WASHIZAKI, 2024, p. 38, tradução nossa).

O desenvolvimento de uma aplicação educacional centrada no usuário alinha-se à KA de Design de Software, particularmente ao "*User-Centered Design*" (Design Centrado no Usuário), que enfatiza uma compreensão aprofundada dos usuários e suas necessidades como base para o design de experiências de usuário (WASHIZAKI, 2024). Isso inclui a coleta de requisitos do usuário e prototipagem de interfaces, aspectos que são importantes ao se projetar para crianças com TEA ou TPS.

A preocupação com a eficácia da aplicação para o público-alvo remete à KA de Qualidade de Software, cujo conceito-chave é a conformidade com os requisitos estabelecidos e a capacidade de um produto de software de satisfazer as necessidades declaradas e implícitas sob condições especificadas (WASHIZAKI, 2024). Isso é vital para garantir que a aplicação atenda às necessidades de acessibilidade e usabilidade para crianças neurodiversas. A integração de tecnologias emergentes como RA e TUIs exemplifica a evolução contínua da engenharia de software para incorporar novos avanços e tecnologias emergentes, refletindo a importância da "Computação Ubíqua" na IHC brasileira (FURTADO et al., 2017).

1.4 Objetivos

O **objetivo geral** deste trabalho é propor uma solução educativa interativa que utilize Realidade Aumentada projetada e Interface Tangível do Usuário para o ensino de Pensamento Computacional a crianças com Transtorno do Espectro Autista ou Transtorno do Processamento Sensorial (ou ambos), visando promover acessibilidade [1], autonomia e inclusão no processo de ensino-aprendizagem.

Para o alcance do objetivo geral, foram delineados os seguintes **objetivos específicos**:

- **OE-1**: Fundamentar teoricamente a pesquisa a partir dos conceitos de Pensamento Computacional, Transtorno do Espectro Autista, Transtorno do Processamento Sen-

[1] Para fins deste trabalho, a acessibilidade é entendida como a condição que assegura que pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida possam utilizar espaços, serviços, tecnologias e informações com autonomia e segurança, promovendo sua plena inclusão (Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania, 2022)

sorial, Interface Tangível do Usuário, Realidade Aumentada e suas aplicações no contexto da educação inclusiva.

- **OE-2**: Projetar a arquitetura e a interface da solução educativa, definindo os requisitos funcionais, não funcionais e pedagógicos.
- **OE-3**: Implementar o protótipo da aplicação educacional com base no projeto definido, utilizando Realidade Aumentada projetada e Interface Tangível do Usuário
- **OE-4**: Avaliar o protótipo da aplicação por meio de testes de software de caixa preta, com foco em seu funcionamento.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este documento está organizado em sete capítulos, incluindo esta introdução. A estrutura foi planejada para apresentar a pesquisa de forma lógica e sequencial.

- **Capítulo 1 – Introdução**: Contextualiza a pesquisa, apresentando a problemática, a justificativa, os objetivos geral e específicos, e a estrutura do documento.
- **Capítulo 2 – Referencial Teórico**: Dedica-se à fundamentação teórica que embasa o estudo, abordando os conceitos de PC, TEA, TPS, TUIs e RA, além de analisar trabalhos correlatos.
- **Capítulo 3 – Metodologia**: Detalha os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, com ênfase no método de Design Centrado no Usuário (DCU) e na caracterização do público-alvo. Descreve as etapas do processo de desenvolvimento, planejamento do TCC e ferramentas utilizadas.
- **Capítulo 4 – Planejamento da Proposta**: Apresenta o processo de concepção inicial da aplicação educacional, levantamento de requisitos do público-alvo e requisitos funcionais e não funcionais do sistema.
- **Capítulo 5 – Desenvolvimento da Aplicação**: Apresenta os principais pontos de definição e desenvolvimento da concepção final da aplicação, passando pela narrativa do jogo, os artefatos tangíveis, a visão computacional integrada e a estrutura física.
- **Capítulo 6 – Validação e Testes**: Detalha os casos de teste utilizados para validar os requisitos e o bom funcionamento da aplicação.
- **Capítulo 7 – Considerações Finais**: Sintetiza as principais considerações do trabalho, apresenta os resultados esperados pelos autores, aponta possíveis direções para pesquisas futuras no campo e, por fim, a conclusão do projeto.

2 Referencial Teórico

Esta seção tem como objetivo apresentar os principais conceitos e literatura relacionada que fundamentam o desenvolvimento desta pesquisa. Para isso, são explorados quatro temas centrais: o Pensamento Computacional (PC); as características e necessidades de indivíduos com Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno do Processamento Sensorial (TPS); o uso de Interfaces Tangíveis do Usuário (TUIs) como recursos interativos que favorecem a aprendizagem por meio da manipulação física de objetos, juntamente com as possibilidades oferecidas pela Realidade Aumentada (RA) como ferramenta de apoio educacional. A seção se encerra com a apresentação de trabalhos relacionados que exploram a interseção entre essas áreas, evidenciando as contribuições já existentes na literatura e fundamentando a contribuição da presente proposta no conhecimento científico estabelecido, ressaltando sua relevância.

2.1 Pensamento Computacional

2.1.1 Conceito e Contextualização

O PC é um conceito fundamentado em ideias estabelecidas há muitas décadas, mencionado, ainda que indiretamente, por vários autores desde o começo dos anos 40. No entanto, este conceito começou a ganhar destaque a partir do trabalho de Wing (2006), que chamou a atenção para sua importância como uma habilidade essencial a ser desenvolvida por todos, e não apenas por profissionais da computação. Em sua definição inicial, a pesquisadora descreveu o PC como um processo que envolve a resolução de problemas, a criação de sistemas e a compreensão do comportamento humano, por meio da aplicação de conceitos da Ciência da Computação (WING, 2006).

Ao tratar da relevância do PC, Wing (2006) destaca que essa habilidade não se resume apenas ao domínio da tecnologia, mas envolve um conjunto de competências que permitem a resolução de problemas de maneira estruturada. Essa abordagem inclui a criação de algoritmos e a construção de soluções eficazes, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias. Assim, o PC amplia a capacidade de análise dos estudantes, estimulando habilidades cognitivas importantes para a leitura, a escrita e o raciocínio matemático (WING, 2006).

Além disso, Wing (2006) reforça que o PC não tem como propósito fazer com que os seres humanos pensem como máquinas. Pelo contrário, seu objetivo é aplicar conceitos da Ciência da Computação para encontrar soluções criativas e eficientes, respeitando as características humanas de pensamento (WING, 2006). Dessa forma, o PC incentiva a

criatividade, o raciocínio lógico e a autonomia na resolução de problemas cotidianos e acadêmicos, promovendo um aprendizado mais significativo, em que o estudante compreende profundamente o que está aprendendo, conseguindo relacionar o conteúdo com sua realidade, interesses e experiências prévias (WING, 2006).

2.1.2 Componentes do Pensamento Computacional

Guarda e Pinto (2020) conduziram um estudo de revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar quais são as principais habilidades e dimensões atribuídas ao PC, especialmente em contextos educacionais e formativos.

Com base na análise dos 19 artigos selecionados, os autores da revisão da literatura propõem um modelo integrado que sintetiza as principais dimensões em um ciclo de três etapas (GUARDA; PINTO, 2020).

1. **Definição do problema:** essa etapa envolve habilidades antes mesmo de se iniciar a busca por uma solução, compreendendo na **formulação do problema**; **abstração**, que permite identificar os elementos mais relevantes do problema; **reformulação**, quando o problema é redesenhado para facilitar a solução; e **decomposição**, que consiste em dividir o problema em partes menores e mais manejáveis.

2. **Resolução do problema:** aqui se concentram as ações voltadas para construir a solução computacionalmente viável, envolvendo a **coleta e análise de dados**, para embasar decisões e algoritmos; **design algorítmico**, ou seja, criar uma sequência de passos ordenados para resolver o problema; **paralelização e iteração**, para otimizar e estruturar o processo; e **automação**, aplicando a solução de forma repetível e eficiente.

3. **Análise da solução:** após a implementação, é preciso verificar se a solução é eficaz por meio da **generalização**, a capacidade de aplicar a mesma lógica a outros problemas semelhantes; e **avaliação e teste**, onde se analisam a eficiência, o uso de recursos, a presença de erros e possíveis melhorias.

2.1.3 Pensamento Computacional na Educação

O Pensamento Computacional tem ganhado cada vez mais espaço nas discussões sobre educação, especialmente no contexto da formação de estudantes para lidar com os desafios do século XXI. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento que orienta os currículos das escolas brasileiras, reconhece o valor do PC como competência fundamental ao longo do Ensino Fundamental, integrando-o de maneira transversal em diferentes áreas do conhecimento, com especial destaque para a Matemática (MEC, 2018).

Os processos matemáticos como resolução de problemas, investigação, desenvolvimento de projetos e modelagem são formas privilegiadas da atividade matemática e estratégias essenciais para o desenvolvimento do pensamento computacional (MEC, 2018). Isso se evidencia, por exemplo, na aprendizagem de Álgebra, Números, Geometria e Estatística, quando o aluno é convidado a traduzir situações do cotidiano para linguagens formais, como fórmulas, tabelas e gráficos (MEC, 2018). O uso de algoritmos, fluxogramas e a identificação de padrões também aproxima a matemática do universo computacional e fortalece habilidades como raciocínio lógico, abstração e decomposição de problemas (MEC, 2018).

A fim de aprofundar e consolidar a presença da Computação na Educação Básica, o documento MEC (2022) foi elaborado como um desdobramento da BNCC, com o objetivo de oferecer orientações específicas sobre a inserção da Computação nos currículos escolares. Esse complemento propõe uma organização clara dos conhecimentos, habilidades e competências relacionadas à Computação. O documento estabelece premissas para a inserção da Computação desde a Educação Infantil, destacando a importância da ludicidade e da interação entre pares no processo de aprendizagem, até o Ensino Médio.

A abordagem do PC não se restringe somente ao uso de computadores ou linguagens de programação, mas se expande para diferentes formas de raciocínio lógico, resolução de problemas e desenvolvimento de estratégias (elementos que podem ser trabalhados tanto em atividades digitais quanto analógicas) (VALENTE, 2016). Atividades sem o uso de computador, como jogos de tabuleiro, desafios de lógica ou tarefas com papel e lápis, oferecem oportunidades para que os alunos desenvolvam habilidades computacionais, como decomposição de problemas, reconhecimento de padrões e criação de algoritmos (VALENTE, 2016). Essas experiências permitem que o pensamento computacional seja acessível mesmo em contextos escolares com infraestrutura limitada, ampliando o alcance da proposta pedagógica (VALENTE, 2016; BRACKMANN et al., 2019).

Ao mesmo tempo, o uso de tecnologias digitais permite explorar de forma mais direta a construção de algoritmos e programas (OSWALD et al., 2023). Ferramentas como Scratch, Blockly e Kodu, que utilizam programação visual em blocos, são acessíveis a crianças e adolescentes e facilitam o entendimento de conceitos como sequência, repetição e condição (OSWALD et al., 2023). Já linguagens como Python, Logo ou Java podem ser introduzidas em fases mais avançadas, possibilitando desafios mais complexos e uma aproximação maior com o universo profissional da computação (OSWALD et al., 2023).

Portanto, integrar o pensamento computacional ao currículo não significa apenas ensinar programação, mas possibilitar que alunos, com ou sem computadores, desenvolvam uma forma de pensar mais estruturada e criativa. Essa abordagem demanda também uma preparação dos professores (VALENTE, 2016).

2.1.4 A Diversidade Cognitiva no Aprendizado do PC

Considerar a diversidade cognitiva no processo de aprendizagem é essencial para atender às múltiplas formas de pensar, perceber e interagir com o conhecimento. Isso requer práticas educacionais que valorizem e respeitem essas diferentes maneiras de aprender (BALBINO et al., 2023). Nesse contexto, o PC surge como uma proposta que pode se adaptar às necessidades de alunos que demandam práticas inclusivas, justamente por sua capacidade de ser desenvolvido por meio de diferentes abordagens e espaços (BALBINO et al., 2023).

Ao ser utilizado em propostas pedagógicas, o PC permite que os estudantes se envolvam em experiências que favorecem a autonomia, a troca entre pares e a construção do conhecimento de forma ativa (BALBINO et al., 2023). Além disso, o PC estimula habilidades cognitivas fundamentais, como a decomposição de problemas, o reconhecimento de padrões, a abstração e o desenvolvimento de algoritmos. Essas competências podem ser exploradas de forma lúdica e sensorial, o que contribui para ampliar as possibilidades de aprendizado de pessoas com diferentes perfis cognitivos (BALBINO et al., 2023).

A flexibilidade do PC, seja por meio de recursos físicos e táteis ou através de ferramentas digitais, permite sua aplicação tanto em ambientes formais quanto informais de ensino, favorecendo metodologias que integram o uso do corpo, dos sentidos e da criatividade (BALBINO et al., 2023).

2.2 Transtorno do Espectro Autista

2.2.1 Conceito e Contextualização

O TEA, de acordo com o Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais – 5ª edição (DSM-5), publicado pela American Psychiatric Association (2014), é caracterizado por um déficit na comunicação social e na interação social em múltiplos contextos, bem como déficit na reciprocidade social, em comportamentos não verbais usados para a comunicação que são utilizados para interação social e em habilidades para manter, desenvolver e compreender relacionamentos (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014). Conforme o indivíduo se desenvolve, a apresentação dos sintomas pode mudar. Além disso, muitos aprendem a usar mecanismos compensatórios que mascaram suas dificuldades. Contudo, para o diagnóstico, é fundamental que esses sintomas estejam presentes nas fases iniciais do desenvolvimento (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

Ao realizar o diagnóstico do TEA, são utilizados especificadores para registrar as características clínicas individuais, sendo eles, com ou sem comprometimento intelectual concomitante, com ou sem comprometimento da linguagem concomitante, associado a

alguma condição médica ou genética conhecida ou a fator ambiental. Complementando esses, existem os especificadores que descrevem os sintomas autistas, que seriam, a idade da primeira preocupação, com ou sem perda de habilidades estabelecidas e gravidade. Esses especificadores individualizam o diagnóstico e garantem uma comunicação clínica mais detalhada dos indivíduos (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

Por fim, pessoas que possuem o TEA têm como seu principal sintoma primário e característico o déficit da comunicação social. Além desse, apresentam outros sintomas, como ter padrões restritos ou repetitivos de comportamento e déficits na reciprocidade socioemocional — ou seja, uma dificuldade maior em estabelecer uma conversa e um compartilhamento de emoções, interesse e afeto mais reduzido. Com isso, o TEA costuma ser um transtorno comórbido; assim, para realizar tal diagnóstico, é necessário que a comunicação social esteja abaixo do esperado para o nível geral do desenvolvimento (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

2.2.2 Níveis de Gravidade para o TEA

Com a publicação do DSM-5, o diagnóstico do TEA passou a considerar não apenas a presença de sintomas, mas também o grau de impacto funcional. Os especificadores, como mencionado anteriormente, podem ser usados para descrever os níveis de gravidade do transtorno. Essa intensidade das manifestações pode mudar dependendo do ambiente ou com o passar do tempo. A seguir serão detalhados os três níveis de gravidade do TEA (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

2.2.2.1 Nível 1 – Requer Apoio

Em relação ao nível 1, na ausência de apoio, é possível identificar que o déficit na comunicação social causa prejuízos notáveis. Alguns exemplos para esse condicionamento são a dificuldade para iniciar interações sociais, respostas atípicas e sem sucesso a aberturas sociais aos outros. No quesito de comportamentos restritivos, a inflexibilidade desses comportamentos pode causar dificuldades na troca de atividades e gerar problemas associados à organização e ao planejamento (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

2.2.2.2 Nível 2 – Requer Apoio Substancial

Quanto ao nível 2, o indivíduo possui um déficit grave na comunicação tanto verbal quanto não verbal, havendo prejuízos sociais mesmo na presença de apoio. Assim como no nível 1, existe a dificuldade de iniciar diálogos e interações sociais; porém, verifica-se também a dificuldade de responder quando os diálogos são iniciados por outros indivíduos, tendo uma capacidade reduzida de aberturas sociais. Concomitante a isso, a inflexibilidade

do comportamento e a dificuldade de lidar com as mudanças são perceptíveis aos observadores casuais. Outros comportamentos restritos ou repetitivos também são evidentes. Por fim, a dificuldade de mudar o foco ou ações é uma característica notável. (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

2.2.2.3 Nível 3 – Requer Apoio Muito Substancial

Já em relação ao nível 3, o indivíduo apresenta níveis graves nas habilidades de comunicação social verbal e não verbal, causando assim graves prejuízos de funcionamento. Essa pessoa apresenta limitações para dar início a interações sociais e tende a dar respostas mínimas quando os outros iniciam tais interações. Neste sentido, estes indivíduos acabam tendo inflexibilidade de comportamento, dificuldades extremas em lidar com mudanças, pois essas dificuldades interferem acentuadamente no funcionamento de outras esferas. Assim como no nível 2, eles possuem dificuldade de mudar de foco e de ações, porém neste nível isso acaba se tornando um grande sofrimento e dificuldade (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

2.2.3 Etiologia e Fatores de Risco

A etiologia[1] do TEA é complexa e multifatorial, pois, de acordo com a DSM-5, isso acaba envolvendo uma interação entre predisposição genética e influências ambientais. Assim, os melhores fatores prognósticos são a presença ou ausência de deficiência intelectual e comprometimento da linguagem associados(AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014)

No quesito ambiental, há fatores de risco inespecíficos, como a idade parental avançada, baixo peso ao nascer ou a exposição fetal a ácido valproico, que é utilizado para o tratamento de epilepsia (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014). Além desses fatores mencionados, outros como as complicações durante a gestação e o parto, exposição pré-natal a poluentes e infecções virais podem influenciar o desenvolvimento neurológico fetal (MODABBERNIA; VELTHORST; REICHENBERG, 2017).

No quesito genético, há uma estimativa de herdabilidade para o TEA que varia de 37% até mais de 90% — essas taxas são em base da concordância entre gêmeos. Atualmente, até 15% dos casos de TEA parecem estar associados a uma mutação genética conhecida. No entanto, mesmo nesses casos, o gene por si só não parece ser uma sentença. Muitos indivíduos podem carregar a mutação sem manifestar o transtorno, um fenômeno

[1] Etiologia: Do grego aitía, “causa” + logos, “estudo” é o ramo do conhecimento que se dedica a investigar as causas ou origens de um fenômeno, de uma doença ou de uma condição (Priberam Informática, S.A., 2024). No contexto do Transtorno do Espectro Autista (TEA), a etiologia busca entender quais fatores, como os genéticos e os ambientais, contribuem para o seu desenvolvimento (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014).

que os geneticistas chamam de penetrância incompleta (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014). Diversos genes e variantes genéticas foram associados ao autismo, muitos dos quais estão envolvidos em processos relacionados à formação sináptica, desenvolvimento neural e comunicação entre neurônios (SANDIN et al., 2014).

Outro fator identificado na literatura, mas que não é tão aprofundado no DSM-5 (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014), é o fator neurológico. Estudos de neuroimagem apontam para diferenças em áreas responsáveis pela linguagem, interação social e processamento sensorial, como o córtex pré-frontal, a amígdala e o cerebelo (COURCHESNE et al., 2007), o que pode contribuir para os déficits de integração sensorial e de comunicação.

2.2.4 Desenvolvimento e Aprendizado em Crianças com TEA

Ao considerar o desenvolvimento infantil, nota-se uma sequência de marcos, como marcos motores, cognitivos, sociais e comunicativos esperados nos primeiros anos de vida. As crianças geralmente começam suas interações sociais imitando gestos e sons, e nos dois primeiros anos de vida, começam a desenvolver uma fala funcional (MARCHETTI; WILLIAMS, 2022).

No caso de crianças com TEA, como já mencionado anteriormente, observa-se frequentemente um desvio qualitativo e/ou quantitativo nesses marcos, com dificuldades na interação social, padrões restritos ou repetitivos, contato visual reduzido, dificuldade no uso de gestos comunicativos (como apontar) e atraso no desenvolvimento da linguagem verbal (ZWAIGENBAUM et al., 2015). Esses sinais podem ser percebidos já no início do desenvolvimento da criança.

No campo do aprendizado, essas crianças demonstram perfis muito heterogêneos. Primeiramente, é importante destacar as dificuldades desses indivíduos, visto que os ambientes de ensino ainda carecem de adaptações tanto na infraestrutura quanto em profissionais capacitados para lidar com pessoas com TEA (HAPPé; FRITH, 2020). Algumas apresentam déficits significativos de linguagem e cognição, enquanto outras exibem habilidades preservadas ou até acima da média em áreas específicas, como memória visual ou habilidades matemáticas. Diferentemente do aprendizado formal, o aprendizado incidental ocorre de maneira espontânea, quando absorvemos informações do ambiente sem que haja uma intenção clara de aprender ou ensinar. É justamente nesse tipo de aquisição de conhecimento que indivíduos com TEA podem apresentar dificuldades notáveis (HAPPé; FRITH, 2020).

Além disso, crianças com autismo que apresentam o Transtorno do Processamento Sensorial (TPS) têm dificuldades na modulação sensorial, comprometendo sua capacidade de manter um estado de alerta apropriado; isso afeta a autorregulação emocional, a aten-

ção sustentada e a resposta a demandas escolares, dificultando a permanência em sala de aula e a atenção compartilhada (MILLER et al., 2007).

2.3 Transtorno do Processamento Sensorial

2.3.1 Processamento Sensorial (ou Integração Sensorial)

O Processamento Sensorial, ou Integração Sensorial, refere-se à capacidade do sistema nervoso central de receber, modular e interpretar as informações captadas pelos receptores sensoriais do corpo, tanto em relação ao ambiente quanto aos próprios movimentos. Para indivíduos neurotípicos, uma integração eficiente dessas sensações é fundamental para planejar e organizar respostas comportamentais adequadas a cada situação (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991).

Essa capacidade de integrar diversas sensações permite tanto a realização de atividades do cotidiano — como caminhar, pegar um objeto ou descer uma escada — quanto tarefas complexas, como pilotar um avião, resolver um problema matemático ou praticar esportes.

O cérebro possui a capacidade de processar estímulos sensoriais e identificar objetos, alimentos ou odores apenas com base nessas sensações (ROSSI, 2016). Quando se ouve uma música, percebe-se simultaneamente o ritmo, a melodia, a intensidade do som e até mesmo as emoções que ela desperta. Com isso, o fluxo de sensações desorganizado pode ser comparado a um engarrafamento de trânsito em horário de pico, pois o cérebro funciona de forma um pouco similar a um inspetor de trânsito organizando o fluxo de carros. (AYRES; ROBBINS, 2005).

A integração multissensorial, que consiste no processamento de sensações provenientes de diferentes sentidos, ocorre de forma integrada. Cada sistema possui uma função específica, mas atua em conjunto com os demais:

- **Processamento Vestibular:** Considerado o sistema unificador, ele fornece um referencial espacial (ligado ao equilíbrio e movimento) para a interpretação de todos os outros tipos de sensações (AYRES; ROBBINS, 2005).
- **Processamento Visual:** Integra estímulos visuais com informações de outros sistemas, como o muscular, o articular e o vestibular, para guiar a percepção e a ação (AYRES; ROBBINS, 2005).
- **Processamento Tátil:** Processa estímulos de calor, frio, dor e pressão captados por receptores presentes na pele (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991).

- **Processamento Auditivo:** Capta as ondas sonoras do ambiente por meio de receptores no ouvido interno (labirinto) (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015).
- **Processamento Olfativo:** Envolve a captação de odores e está diretamente ligado ao sistema límbico, que é importante para a memória e as emoções.
- **Processamento Gustativo:** É responsável por captar sensações de textura, sabor e temperatura dos alimentos (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015).
- **Processamento Interoceptivo:** Recebe e integra estímulos dos órgãos internos do corpo, frequentemente em conjunto com os estímulos táteis e vestibulares (AYRES; ROBBINS, 2005).

2.3.2 Transtorno do Processamento Sensorial

O TPS ocorre quando o cérebro não é capaz de processar e organizar adequadamente os estímulos sensoriais, resultando no recebimento de informações imprecisas ou distorcidas tanto sobre o próprio corpo quanto sobre o ambiente circundante (AYRES; ROBBINS, 2005). Quando essa integração dos sentidos não é realizada corretamente, isso pode resultar em problemas sérios para o indivíduo. Segundo Kranowitz (2005), o TPS é a inabilidade de usar a informação recebida pelos sentidos a fim de funcionar de um modo tranquilo no cotidiano (KRANOWITZ, 2005). Este transtorno afeta a forma como o cérebro processa informações sensoriais, podendo impactar desde um único sentido até vários deles simultaneamente. Como resultado, é comum que se manifeste através de reações exacerbadas a estímulos do cotidiano.

Segundo Ayres e Robbins (2005), diversos fatores podem contribuir para o desenvolvimento do TPS. O primeiro é o fator genético, sendo uma condição herdada pelos pais. O segundo engloba exposições durante o período pré-natal, como uso de medicamentos, toxinas, álcool e cigarro, que são absorvidos pelo feto. Por fim, o terceiro fator inclui complicações perinatais, como nascimento prematuro ou baixo peso ao nascer (AYRES; ROBBINS, 2005). Além disso, existem outros fatores que podem contribuir para o TPS, como toxinas presentes no meio ambiente, contaminação do ar, vírus destrutivos e produtos ingeridos (AYRES; ROBBINS, 2005). No entanto, tais fatores constituem apenas elementos contributivos. Segundo Fisher, Murray e Bundy (1991), a disfunção de integração sensorial tem suas raízes em algum tipo de deficiência cerebral não específica, ou seja, a criança se depara com um mundo que experiencia de maneira desorganizada (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991).

2.3.2.1 Impactos do TPS no Desenvolvimento e Qualidade de Vida

O TPS impacta diretamente uma porção do sistema nervoso central; assim, um distúrbio nessa área influencia diretamente a organização das mensagens sensoriais (KRANOWITZ, 2005). Quando o cérebro falha em processar adequadamente os impulsos sensoriais, a capacidade do indivíduo de gerar comportamentos eficazes e organizados fica comprometida. Como consequência direta, surgem dificuldades progressivas na aprendizagem, além de uma menor capacidade para corresponder a solicitações cotidianas e para lidar com o estresse (AYRES; ROBBINS, 2005).

Devido à disfunção desses sensores, diversas dificuldades podem ser identificadas, como por exemplo: 1) dificuldades no desenvolvimento da fala, uma vez que essa habilidade exige o processamento e a integração de múltiplos estímulos sensoriais; 2) dificuldades de concentração no ambiente escolar, já que o indivíduo pode ter dificuldade em filtrar estímulos visuais (movimentação) e auditivos (sons) presentes no ambiente; e 3) dificuldades de aprendizagem relacionadas à leitura, escrita e aritmética, visto que essas competências demandam uma integração sensorial complexa (AYRES; ROBBINS, 2005).

Para ilustrar uma situação típica envolvendo crianças com TPS, Kranowitz (2005) descreve a interação entre uma criança com esse transtorno e um gato. Uma criança com desenvolvimento sensorial típico, ao puxar o rabo de um gato e vivenciar as consequências (miado hostil e arranhão), consegue processar e integrar todas essas informações sensoriais, aprendendo a evitar esse comportamento no futuro. Contrastivamente, uma criança com TPS na mesma situação não consegue decodificar adequadamente essas sensações e pode não estabelecer as associações necessárias para aprender a evitar situações semelhantes de maneira apropriada. Diante disso, Kranowitz (2005) concluiu que a criança pode: 1) continuar a ser arranhada e não aprender a evitar o comportamento até que o gato seja removido ou passe a ignorá-la; 2) desenvolver medo de gatos, o que pode evoluir para uma aversão mais generalizada a outros animais; ou 3) com o tempo, aprender a interagir de maneira mais adequada com o gato, mas somente após repetidas experiências negativas e esforços consideráveis (KRANOWITZ, 2005).

Os sintomas do TPS podem ser classificados da seguinte maneira:

1. **Problemas de Modulação Sensorial**: referem-se à dificuldade do indivíduo em regular e selecionar adequadamente quais estímulos sensoriais são relevantes para a tarefa em execução. Uma modulação sensorial ineficaz pode resultar em reações exageradas (hiper-reatividade) ou reduzidas (hiporreatividade) aos estímulos do ambiente, além de dificuldades em controlar a necessidade de determinados estímulos, "alguns intensamente desejados, outros flutuantes" (KRANOWITZ, 2005).

2. **Problemas de Discriminação Sensorial**: referem-se à dificuldade em não con-

seguir distinguir uma sensação de outra e de interpretá-las, causando problemas no aprendizado de novas tarefas (ROSSI, 2016).

3. **Desordem Motora Sensorial**: referem-se sobretudo a desordem postural, ao equilíbrio corporal, a uma padronização dos movimentos e na forma de como se é utilizado os dois lados do corpo simultaneamente (ROSSI, 2016).

Conforme mencionado anteriormente, o TPS pode ocorrer em apenas um sentido ou em vários simultaneamente, resultando, assim, em problemas relacionados às suas funções. Em cada sentido, pode-se observar as seguintes consequências:

- **Visual**: Em relação a visão, a percepção de espaço e a forma em que o indivíduo interage com o ambiente é o resultado dessa integração entre experiências sensório-motoras e informações visuais (AYRES; ROBBINS, 2005). Crianças com TPS relacionadas a estímulos visuais apresentam dificuldades nessa percepção do ambiente, o que se reflete, por exemplo, no mau aproveitamento do espaço em desenhos, na dificuldade em formar filas e em limitações ao praticar esportes (ROSSI, 2016).
- **Auditivo**: O processamento auditivo não opera de forma isolada, mas sim de maneira integrada a outros sistemas sensoriais, como o vestibular, o proprioceptivo e o tátil, que são essenciais para o desenvolvimento da linguagem (AYRES; ROBBINS, 2005).; em outras palavras, o sentido auditivo não envolve apenas estímulos sonoros, mas também vestibulares, proprioceptivos, táteis e vibratórios (AYRES; ROBBINS, 2005). Portanto, um indivíduo que possui alterações no sistema auditivo pode ter suas habilidades de linguagem, audição e vocalização comprometidas. A TPS auditiva pode causar dificuldade de modulação. Assim, crianças com hipersensibilidade auditiva costumam ficar incomodadas com sons comuns por causa do ao volume e tom, evitando locais barulhentos; quando estão inseridas nesse tipo de ambiente, exibem agitação ou distração extrema (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015). Crianças com hipersensibilidade costumam ficar incomodadas com sons habituais por causa do volume e do tom, evitando assim ambientes ruidosos; quando se encontram nesses lugares, geralmente ficam muito agitadas ou distraídas.
- **Gustativo e Olfativo**: No sentido olfativo, o indivíduo com TPS possui alterações significativas na modulação sensorial (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015). Em casos de hipersensibilidade, essas pessoas demonstram reações exacerbadas a odores que frequentemente são considerados neutros e imperceptíveis pela maioria dos indivíduos (ROSSI, 2016). Diante disso, acabam passando por episódios de náuseas, vômitos, dificuldades na fala e dificuldade na concentração ao terem contato com esses estímulos (ROSSI, 2016). Por outro lado, a hipossensibilidade olfativa se manifesta pela busca por esses estímulos, levando os indivíduos a quererem cheirar

objetos constantemente. De modo semelhante ao olfato, o processamento gustativo também pode apresentar disfunções de modulação sensorial, que se desdobram em reações opostas. A hipersensibilidade gustativa, por exemplo, gera no indivíduo uma aversão a diversos sabores, tornando a alimentação desconfortável, rigorosamente seletiva e limitada (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015). Em contrapartida, a hipossensibilidade gustativa leva o indivíduo a comportamentos de busca sensorial oral, incluindo o desejo de morder objetos não comestíveis para estimular os receptores sensoriais (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015).

- **Tátil**: As disfunções no processamento do sentido tátil são complexas, manifestando-se de maneiras distintas. Uma das principais é a hipersensibilidade (ou defensividade tátil), na qual o indivíduo reage de forma negativa e emocional a estímulos que seriam considerados neutros (AYRES; ROBBINS, 2005). Essa reação aversiva, que pode ser desencadeada até mesmo pelo receio de ser tocado, ocorre por uma falha nos mecanismos de inibição neural e pode levar à evitar interações e consequentes atrasos no desenvolvimento motor (AYRES; ROBBINS, 2005; KRANOWITZ, 2005).

  Além da hipersensibilidade, outra disfunção comum é a dificuldade de discriminação tátil. Neste caso, o problema não é a reação emocional, mas a dificuldade do cérebro em interpretar a localização e as características do estímulo, o que pode afetar a percepção de dor, fome ou necessidade de ir ao banheiro (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991).

  Em contrapartida às reações exageradas, existe a hipossensibilidade tátil, que se caracteriza por uma resposta diminuída aos estímulos. Isso leva o indivíduo a uma busca intensa por sensações, demonstrando prazer em tocar e ser tocado vigorosamente, por vezes sem reconhecer riscos associados ao toque (ABRAHAM; BRALEY; DROBNJAK, 2015).

- **Vestibular**: A modulação disfuncional que decorre do TPS pode ocasionar distúrbios vestibulares que impactam atividades rotineiras (AYRES; ROBBINS, 2005). No caso de hipossensibilidade, o indivíduo apresenta dificuldades em relação ao controle motor ocular, respostas posturais e a integração bilateral. Nesse sentido, o sistema vestibular estimula grupos musculares, incluindo aqueles presentes nos olhos, pescoço, costas, braços e pernas. Por exemplo, no caso ocular, os indivíduos possuem a capacidade de seguir objetos em movimento comprometida (AYRES; ROBBINS, 2005); já no caso de respostas posturais, uma grande dificuldade de manter a cabeça erguida quando sentado, assim como apresentam fadiga precoce, ajustes posturais inadequados,entre outros (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991). Como dito anteriormente, a hipossensibilidade afeta a integração bilateral — coordenação dos dois lados do corpo. Para esses indivíduos, essa limitação é perceptível devido a manifestação de dificuldade na coordenação motora entre as mãos e os pés

(AYRES; ROBBINS, 2005). Na hipersensibilidade, o indivíduo enfrenta uma batalha emocional constante em relação aos movimentos, provocando uma insegurança gravitacional. Por exemplo, indivíduos afetados realizam movimentos de salto sem que os pés de fato saiam do chão, mesmo que não exista risco de queda algum, o que pode causar náuseas diante dos movimentos rápidos (AYRES; ROBBINS, 2005).

- **Proprioceptivo**: O sistema proprioceptivo atua em conjunto com os sentidos vestibular e tátil, sendo que dificuldades em um sistema frequentemente se manifestam nos outros, especialmente em pessoas com Transtorno do Processamento Sensorial (TPS) (KRANOWITZ, 2005). O TPS compromete a capacidade do sistema nervoso de modular os estímulos proprioceptivos, o que gera diversas consequências funcionais. Entre as principais, destacam-se: dificuldade em perceber a posição do corpo no espaço, comprometimento da coordenação motora, dificuldade para graduar a força muscular, instabilidade postural e, por fim, uma insegurança emocional e física decorrente da falta de confiança no próprio corpo (ROSSI, 2016).

  Essa disfunção na modulação pode se apresentar como hipersensibilidade ou hipossensibilidade. No caso da hipersensibilidade, o indivíduo pode ter reações de defesa ao movimento e dificuldade em dosar a força, o que por vezes é interpretado como um comportamento agressivo. Já na hipossensibilidade, há uma busca por estímulos mais intensos e uma tendência a apresentar posturas corporais inadequadas, como sentar-se de forma desleixada ou apoiar-se em objetos e pessoas (KRANOWITZ, 2005).

  Além disso, a literatura aponta uma forte correlação entre as disfunções proprioceptivas do TPS e a dispraxia. A dispraxia é uma condição neurológica que afeta o planejamento e a execução de movimentos voluntários. De forma crucial, sua origem também está ligada a disfunções no processamento dos sistemas tátil, vestibular e proprioceptivo. Em outras palavras, a dificuldade em automatizar movimentos e a percepção corporal deficiente, características da dispraxia, estão diretamente relacionadas à forma como o cérebro processa essas informações sensoriais (AYRES; ROBBINS, 2005).

2.3.3 Tratamento do Transtorno do Processamento Sensorial

A principal forma de tratamento do TPS é inserir tais indivíduos em um local onde eles possam ter contato e interagir com o ambiente (conforme a Figura 1) estimulando os sensores (AYRES; ROBBINS, 2005). A integração sensorial é conduzida de modo que o indivíduo tenha uma entrada sensorial fortalecida, exigindo um comportamento adaptativo (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991). Conforme Ayres e Robbins (2005), a ideia central dessa terapia é prover e controlar o input sensorial, de modo que a criança forme espon-

taneamente respostas adaptativas que integrem essas sensações. O ambiente em que essas pessoas são inseridas geralmente é equipado com brinquedos e instrumentos específicos para a estimulação sensorial.

Figura 1 – Exemplo de sala de tratamento para TPS com elementos para estimulação.



Fonte: Clia Psicologia (2025)

Os terapeutas utilizam tais equipamentos para promover atividades que são planejadas de forma cuidadosa para estimular sensações específicas nos indivíduos, o que para alguém leigo pode parecer apenas uma brincadeira (ROSSI, 2016). Há um equipamento descrito na literatura chamado *Bolster Swing*, uma almofada cilíndrica suspensa por duas cordas de teto (AYRES; ROBBINS, 2005). O indivíduo monta nesse equipamento como se fosse em um cavalo, e, auxiliado pelo terapeuta, são realizados movimentos para estimular o sentido vestibular, e para que isso seja eficaz, o paciente deve participar de forma ativa, ainda que exista um histórico de trauma. (AYRES; ROBBINS, 2005).

É válido ressaltar que os pacientes com o TPS possuem uma singularidade em suas características; isso leva com que cada terapeuta proponha atividades individualizadas para cada indivíduo (KRANOWITZ, 2005). Essas atividades têm como principal objetivo estimular os sentidos deficitários. Sendo assim, demanda-se atividades desafiadoras, com um nível de dificuldade que esteja um pouco acima das habilidades atuais do paciente, pois é necessário despertar o engajamento do paciente a querer desenvolver tal atividade e promover melhorias a cada sessão (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991).

Os pacientes, mesmo com os desafios que são propostos pelos terapeutas, podem acabar não tendo vontade de realizar tais atividades por achar algo “chat”, ou para pes-

soas mais velhas, uma brincadeira de criança. Isso pode ocorrer devido a três fatores: a atividade ser muito difícil; o paciente possuir habilidade, mas achar a tarefa difícil; ou, por fim, o paciente estar hiperestimulado (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991). Com isso, os terapeutas têm que novamente se adaptar à individualidade de cada pessoa. No caso do primeiro exemplo, uma solução seria diminuir a dificuldade; no segundo, convencer o paciente de que é possível realizar a atividade; e, no terceiro caso, respeitar o momento do paciente.

A princípio, é importante notar que essas pessoas têm dificuldade em lidar com as derrotas que podem ocorrer durante a execução das atividades. Por isso, os terapeutas precisam ajustar as atividades para que eventuais falhas não gerem frustração intensa no indivíduo (FISHER; MURRAY; BUNDY, 1991). Segundo Ayres e Robbins (2005), Fisher, Murray e Bundy (1991) e Kranowitz (2005), as características fundamentais dessas atividades são: o paciente deve conseguir completar a atividade, deve adaptar seu comportamento, as atividades devem ser divertidas e, por último, devem ser direcionadas conforme as características individuais do paciente.

Neste panorama, esse tratamento apresenta bons resultados, pois está de acordo com o alinhamento do funcionamento do cérebro humano. O cérebro é dotado de neuroplasticidade, a capacidade de se reorganizar estrutural e funcionalmente a partir de estímulos. Essa plasticidade é particularmente intensa durante a infância, e, dessa forma, as atividades terapêuticas atuam como estímulos direcionados que promovem a formação de novas conexões neurais (AYRES; ROBBINS, 2005). Em virtude disso, em crianças e jovens pode ocorrer a formação de novas conexões e, nos adultos, isso facilita a transmissão de mensagens neuronais, melhorando a eficiência da comunicação entre neurônios (AYRES; ROBBINS, 2005).

Diante do exposto, a revisão da literatura aponta que a intervenção para o TPS se baseia em atividades terapêuticas direcionadas a cada sistema sensorial. O objetivo é fornecer estímulos controlados que ajudem a modular as respostas do sistema nervoso e a desenvolver habilidades adaptativas. Segundo a abordagem de Terapia de Integração Sensorial, descrita por autores como (KRANOWITZ, 2005), as atividades são segmentadas da seguinte forma:

- **Visual**: Para aprimorar o foco, o rastreamento ocular e a percepção de profundidade, recomendam-se atividades como jogos com sacos de feijão, balões e bolas suspensas, que exigem que a criança siga objetos em movimento com os olhos (KRANOWITZ, 2005).
- **Auditivo**: No campo auditivo, o uso de sons controlados ou músicas com ritmos específicos é uma estratégia comum. O objetivo é tanto acalmar um sistema nervoso

hiper-reativo quanto estimular um sistema hipo-reativo, melhorando a capacidade de modulação auditiva (KRANOWITZ, 2005).

- **Tátil**: Para desenvolver a discriminação e a tolerância tátil, propõem-se atividades como esfregar braços e pernas com materiais de diferentes texturas (esponjas, panos) ou engajar-se em manipulação fina, como encontrar brinquedos escondidos em recipientes com grãos ou usar massas terapêuticas (KRANOWITZ, 2005).

- **Vestibular**: O sistema vestibular, responsável pelo equilíbrio e pela orientação espacial, é trabalhado com atividades que envolvem movimento. Exemplos incluem balançar em diferentes tipos de balanços, pular em trampolins ou realizar exercícios sobre uma bola terapêutica inflada (KRANOWITZ, 2005).

- **Proprioceptivo**: O foco do trabalho proprioceptivo é a consciência corporal e a regulação da força, por meio de atividades de "trabalho pesado". Exemplos claros incluem: empurrar ou puxar objetos (como usar um rolo para bater em uma bola), mover-se em pistas de obstáculos, deslocar-se em um skate de bruços (usando os braços para se impulsionar) e brincar com ímãs ou massas de alta resistência para fortalecer os músculos das mãos e estabilizar as articulações (KRANOWITZ, 2005).

2.3.4 Transtorno do Processamento Sensorial em Relação ao Autismo

A literatura científica documenta que as características do TPS têm se destacado como elementos centrais do TEA. Estudos indicam que entre 45% e 96% dos indivíduos diagnosticados com TEA apresentam dificuldades em uma ou mais modalidades do sistema sensorial (BEN-SASSON; CARTER; BRIGGS-GOWAN, 2009). Além disso, a severidade das alterações sensoriais é variada de acordo com a gravidade do transtorno e com a idade cronológica do indivíduo. Indivíduos com maiores dificuldades sociocomunicativas e comportamentais tendem a apresentar sintomas sensoriais mais expressivos (BEN-SASSON; CARTER; BRIGGS-GOWAN, 2009).

Tais manifestações não são restritas apenas à modulação sensorial, mas englobam déficits na percepção e discriminação sensorial (BEN-SASSON; CARTER; BRIGGS-GOWAN, 2009). Alterações no processamento visual incluem um estilo focado em detalhes e dificuldades com estímulos visuais dinâmicos (ROBERTSON; BARON-COHEN, 2017). Alterações no processamento auditivo incluem dificuldades em discernir a ordem de estímulos sonoros sequenciais e requerimento de mais tempo para processar informações sonoras, incluindo a fala (BRANDWEIN et al., 2015). Déficits no processamento multimodal, como a inabilidade em integrar informações auditivas e visuais, também são observados e impactam a compreensão da comunicação verbal face-a-face (STEVENSON et al., 2014). Problemas posturais e da praxia global, comuns em pessoas com TEA, po-

dem estar associados a falhas de processamento discriminativo — Transtornos Motores de Base Sensorial (TMBS) (LIM et al., 2017).

Em relação a essas primícias, ainda há uma correlação entre sintomas sensoriais e comportamentos estereotipados que são comuns no espectro autista. A defensividade tátil pode desencadear respostas comportamentais mais rígidas, repetitivas e estereotipadas. Isso é devido a uma autoproteção causada por estímulos sensoriais que podem ser vistos de forma ameaçadora para esses indivíduos (BOYD; BARANEK et al., 2010).

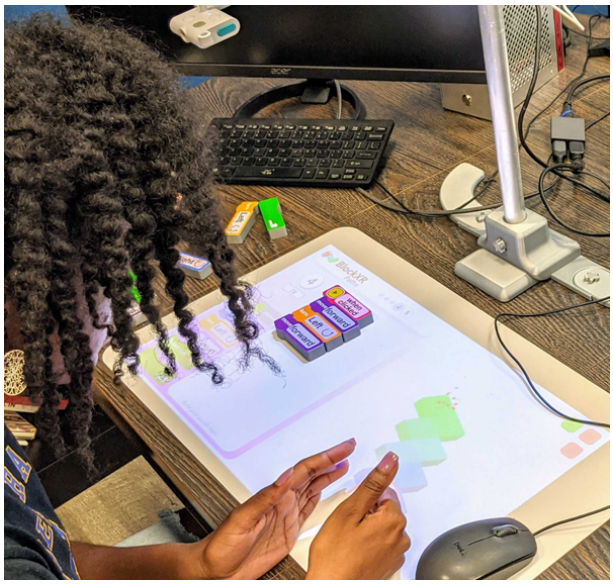
2.4 Interface Tangível e Realidade Aumentada

As tecnologias de realidade estendida, que incluem Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (RM), têm transformado a forma como se interage com a informação. Enquanto a RV imerge o usuário em um ambiente totalmente digital (BURDEA; COIFFET, 2017; JERALD, 2015; LaViola Jr. et al., 2017), a RA se destaca por permitir que o mundo real seja enriquecido com elementos virtuais sobrepostos em tempo real (MILGRAM; KISHINO, 1994; AZUMA, 1997). A RM, por sua vez, integra elementos de ambas, permitindo que objetos físicos e digitais coexistam e interajam em tempo real. Nesse ambiente híbrido, o usuário pode, por exemplo, manipular um objeto digital como se ele estivesse presente no mundo físico. Dentre essas modalidades, a RA tem se consolidado como uma abordagem promissora, especialmente em contextos educacionais, por oferecer uma fusão equilibrada entre a realidade tangível e a informação digital (TORI et al., 2020).

No campo da educação, a RA tem demonstrado potencial para tornar o processo de aprendizagem mais atrativo e eficaz, especialmente nos anos iniciais da educação básica. Estudos indicam que seu uso pode melhorar a qualidade ldo ensino, a aquisição de conhecimento, a motivação e o engajamento dos estudantes (KLETTEMBERG; TORI; HUANCA, 2021). Uma vertente da RA é por meio da projeção, onde os elementos virtuais são projetados diretamente em superfícies físicas, em que a experiência se torna compartilhada e não individual, como é o caso de *smartphones* e *headsets*. A Figura 2 ilustra uma atividade prática com RA projetada, na qual o usuário manipula blocos físicos que são reconhecidos pelo sistema. Essa abordagem, em muitos casos, permite uma experiência mais acessível, pois elimina algumas das barreiras tecnológicas que podem limitar o acesso de determinados grupos, como crianças pequenas ou pessoas com deficiências visuais leves (TRAJKOVSKA et al., 2022).

Complementando essa discussão, surge o conceito de Interface Tangível do Usuário (TUI), que transforma a maneira como se interage com a informação digital ao permitir que esta seja manipulada por meio de objetos físicos. Segundo Ishii e Ullmer (1997), TUIs se propõem a ir além das Interfaces Gráficas de Usuário (GUIs), utilizando artefatos fí-

Figura 2 – Interação com RA projetada e blocos tangíveis.



Fonte: Siqueira, Feijóo-García e Stanley (2021)

sicos, superfícies e espaços para representar e controlar informações digitais. Isso oferece aos usuários a possibilidade de "agarrar" e interagir diretamente com a informação, promovendo uma experiência mais sensorial, envolvente e acessível (ISHII; ULLMER, 1997; ULLMER et al., 2022).

Diferente das GUIs, que dependem fortemente de metáforas visuais e telas bidimensionais, as TUIs exploram os sentidos táteis, a percepção espacial e a manipulação física de objetos como formas naturais de interação. Essa mudança de paradigma é sustentada pela percepção de que os humanos compreendem melhor o mundo por meio da interação física com ele (GIBSON, 2014). Através das TUIs, conceitos abstratos podem ganhar representações concretas, facilitando a construção de significados compartilhados e promovendo uma aprendizagem mais profunda (DOURISH, 2001; HURON et al., 2022). A interação com objetos físicos representando informação digital amplia o processo cognitivo, estimulando habilidades de pensamento crítico, comunicação e resolução de problemas (JANSEN et al., 2015).

A utilização de blocos tangíveis para o ensino de programação e pensamento computacional já se mostra eficaz em diversas iniciativas educacionais. Esses sistemas permitem que crianças e estudantes manipulem instruções e algoritmos de forma concreta, simplificando a abstração dos conceitos envolvidos (ROQUE, 2007; RESNICK et al., 2009a; WANG; ZHANG; WANG, 2011; TETTEROO; SOUTE; MARKOPOULOS, 2013). Ao integrar TUIs com tecnologias de RA, é possível criar ambientes híbridos que combinam o melhor dos mundos físico e digital. Essa fusão favorece a imersão, o engajamento e a compreensão de conteúdos complexos, como os fundamentos de programação, de maneira

lúdica (VIDARTE et al., 2010; TRAJKOVSKA et al., 2022).

Por fim, a tangibilidade desempenha um papel na promoção da inclusão. Interfaces tangíveis não dependem exclusivamente da visão ou da habilidade de interpretar representações visuais complexas, tornando-se acessíveis a um público mais amplo, incluindo pessoas com deficiências sensoriais ou dificuldades cognitivas (CHAGAS; FURTADO; SOUZA, 2014; JANSEN et al., 2015). Ao envolver múltiplos sentidos e possibilitar interações físicas e colaborativas, essas interfaces ampliam as oportunidades de aprendizado, tornando os sistemas educacionais mais democráticos e equitativos.

2.5 Trabalhos Relacionados

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas nas últimas décadas com o intuito de tornar o ensino mais acessível, lúdico e inclusivo. Nesse contexto, o uso de tecnologias assistivas e abordagens alternativas tem se mostrado promissor, especialmente quando combinadas com estratégias educacionais voltadas ao desenvolvimento de habilidades cognitivas, sociais e de raciocínio lógico.

Nesse sentido, Silva e Bissaco (2022) apresentaram uma plataforma educacional desenvolvida para apoiar a experiência, comunicação e comportamento de crianças com TEA. A proposta é centrada na criação de ambientes digitais que favorecem a inclusão e o desenvolvimento dessas crianças, considerando suas particularidades sensoriais e comunicacionais. De forma semelhante, a dissertação de Rossi (2016) propôs um sistema de RV como ferramenta de auxílio no tratamento de TPSs, mostrando os benefícios da imersão e da interação digital no enfrentamento dos desafios sensoriais. Já Reis e Silva (2022) discutem como o processamento sensorial impacta diretamente o desempenho escolar, reforçando a necessidade de adaptar ambientes de aprendizagem às características individuais de cada aluno, especialmente aqueles com dificuldades sensoriais.

Em paralelo, a preocupação com o estímulo ao PC também tem ganhado destaque, sobretudo em contextos educacionais. O trabalho de Oswald et al. (2023) realizou uma revisão sistemática sobre o fomento ao PC e às habilidades socioemocionais em crianças com TEA ou Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) (ou ambos). A revisão evidencia a importância de abordagens multidimensionais que levem em conta não apenas o conteúdo cognitivo, mas também aspectos afetivos e sociais da aprendizagem. Resnick et al. (2009b) introduziram o *Scratch* como uma linguagem de programação visual que democratiza o acesso à lógica computacional de forma criativa e acessível para crianças e jovens. Essa iniciativa pavimentou o caminho para diversas outras plataformas e métodos que buscam tornar o aprendizado da computação mais envolvente.

No Brasil, Balbino et al. (2023) exploraram o uso de jogos de tabuleiro como

ferramenta para o ensino de PC a estudantes com TEA. O trabalho evidencia como elementos lúdicos e tangíveis podem promover maior engajamento e facilitar a compreensão de conceitos abstratos. A pesquisa destaca a importância de adaptar metodologias às necessidades específicas desse público, promovendo inclusão por meio do jogo e da interatividade.

Além do público com TEA, outras iniciativas também buscaram aplicar TUIs a crianças com necessidades específicas. O trabalho de Jurgina et al. (2024) avalia a usabilidade de uma ferramenta tangível educacional sob a perspectiva de crianças e jovens com Síndrome de Down. O estudo fornece informações importantes sobre como adaptar interfaces físicas para aumentar a acessibilidade, motivação e engajamento em contextos educacionais. Embora este estudo não aborde diretamente o PC nem o uso de RA, ele ressalta a importância do cuidado com a experiência do usuário na concepção de TUIs para crianças com neurodivergências.

A convergência entre tecnologia tangível e programação foi explorada por Siqueira, Feijóo-García e Stanley (2021), que apresentaram o *BlockXR*, uma plataforma de programação baseada em blocos tangíveis associada a RA projetada. A proposta visa proporcionar uma experiência interativa e imersiva para o ensino de conceitos computacionais. De forma complementar, o trabalho *fableBlocks* de Siqueira et al. (2022) propôs um ambiente de programação tangível baseado em narrativas, com o intuito de mitigar a ansiedade relacionada à programação, tornando o processo mais acessível e acolhedor, especialmente para iniciantes.

Já o projeto *PPCards*, apresentado por Siqueira et al. (2021), foca no aprimoramento da prototipação eletrônica utilizando cartões tangíveis em uma plataforma que integra elementos de RA. A pesquisa investiga como a combinação de diferentes modalidades de interação pode reduzir o efeito de divisão de atenção (*split-attention effect*) e promover uma aprendizagem mais fluida e envolvente.

Embora já exista uma diversidade de abordagens desenvolvidas, observa-se que os trabalhos existentes tendem a explorar combinações parciais dos três pilares abordados neste trabalho: (i) TUIs ou RA (ou ambos), (ii) ensino de PC e (iii) crianças com TEA ou TPS (ou ambos). Por exemplo, há propostas que utilizam RA com programação, outras que usam TUIs com crianças neurodivergentes, ou ainda métodos de ensino de PC voltados a crianças com TEA. No entanto, até o momento, não foram encontrados trabalhos que abordem de forma integrada os três elementos em conjunto.

Dessa forma, este trabalho se apresenta como uma contribuição inédita ao propor uma abordagem que une TUIs e RA para o ensino de PC, com características de inclusão para crianças com TEA ou TPS (ou ambos). A proposta visa não apenas a inclusão e o engajamento desses alunos, mas também a criação de experiências significativas e

adaptadas às suas formas de perceber, interagir e aprender.

3 Metodologia

3.1 Caracterização da Pesquisa

Este capítulo descreve o plano metodológico adotado para o desenvolvimento desta pesquisa, considerando os objetivos traçados, bem como os procedimentos e etapas seguidas ao longo do trabalho. A metodologia é, conforme definido por Gerhardt e Silveira (2009), o estudo da organização e dos caminhos a serem percorridos para realizar uma pesquisa científica. Ou seja, trata-se da escolha e aplicação dos métodos que melhor se adequam à natureza do problema investigado.

3.1.1 Abordagem da Pesquisa

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, uma vez que se concentra na compreensão dos significados, motivações e contextos relacionados ao ensino do pensamento computacional para crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) ou Transtorno do Processamento Sensorial (TPS), por meio do uso de Interface Tangível do Usuário (TEI) e Realidade Aumentada (RA). Segundo Minayo, Deslandes e Gomes (2011), a pesquisa qualitativa é adequada quando se busca explorar o universo de significados e valores atribuídos a fenômenos sociais e humanos complexos, que não podem ser reduzidos à mensuração de variáveis.

Embora o desenvolvimento da aplicação envolva aspectos técnicos e objetivos, como o uso da biblioteca de jogos *PyGame* e recursos de RA projetada, o foco deste trabalho está na elaboração de uma proposta teórico-prática fundamentada nos pressupostos da inclusão, da acessibilidade e do desenvolvimento cognitivo, e não na obtenção de dados mensuráveis. Por essa razão, optou-se por não realizar, nesta etapa, coleta e análise de dados empíricos, o que poderá ser contemplado em estudos futuros. Contudo, serão realizados testes de software, como testes de caixa preta e validações funcionais, com o objetivo de garantir a estabilidade, coerência e funcionamento adequado da aplicação proposta.

3.1.2 Natureza da Pesquisa

A pesquisa é caracterizada como aplicada, pois tem como objetivo desenvolver uma proposta funcional de aplicação que integre tecnologias emergentes com metodologias pedagógicas voltadas ao ensino do Pensamento Computacional (PC) para um público-alvo específico. A pesquisa aplicada, segundo Gerhardt e Silveira (2009), visa gerar conheci-

mento com vistas à solução de problemas práticos e concretos, envolvendo interesses locais e contextualizados. Assim, a proposta da aplicação busca responder a essa demanda por meio de uma solução acessível, interativa e sensorialmente ajustada às suas necessidades.

3.1.3 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos foram definidos de modo a garantir que cada objetivo específico fosse atendido por métodos de pesquisa apropriados. As etapas a seguir descrevem essa correspondência entre objetivos e procedimentos.

1. **OE-1 — Fundamentar teoricamente a pesquisa:** Para atingir este objetivo, foi realizada uma *pesquisa bibliográfica* acerca dos temas centrais do trabalho. Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, como livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos eletrônicos. Essa etapa permitiu compreender os fundamentos do Pensamento Computacional, da educação inclusiva e das tecnologias TUI e RA, estabelecendo o embasamento teórico que sustenta o desenvolvimento da proposta. **Resultado esperado:** consolidação de um referencial teórico interdisciplinar.

2. **OE-2 — Projetar a arquitetura e a interface da solução:** Com base na revisão teórica, foi conduzido um *estudo de propostas relacionadas*, no qual foram analisadas aplicações e pesquisas semelhantes que utilizam tecnologias tangíveis e realidade aumentada no contexto educacional. Essa etapa possibilitou identificar metodologias, frameworks e práticas adequadas, além de lacunas a serem exploradas. A partir dessa análise, foi definido o projeto conceitual e técnico da solução, incluindo seus requisitos funcionais, não funcionais e pedagógicos. **Resultado esperado:** especificação clara dos requisitos e da arquitetura da aplicação.

3. **OE-3 — Implementar o protótipo da aplicação:** A implementação foi conduzida de forma experimental e aplicada, utilizando a biblioteca de jogos *PyGame* para integração entre a Realidade Aumentada projetada e a Interface Tangível. Nessa fase, aplicaram-se princípios de engenharia de software, design instrucional e usabilidade, assegurando coerência entre a proposta teórica e a realização prática. **Resultado esperado:** desenvolvimento funcional de um protótipo educativo interativo.

4. **OE-4 — Avaliar o protótipo da aplicação:** Para verificar o funcionamento e a consistência da solução proposta, foram realizados *testes de software de caixa preta* e *validações funcionais*. Esses testes buscaram confirmar se o sistema responde adequadamente às ações do usuário e cumpre os requisitos definidos. Embora não tenha sido conduzida, nesta etapa, uma avaliação empírica com o público-alvo, os resultados obtidos permitirão validar tecnicamente a aplicação e embasar estudos

futuros com foco pedagógico. **Resultado esperado:** verificação da estabilidade, coerência e funcionamento adequado do sistema.

3.2 Público-alvo

O presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de recursos educacionais baseados em TUIs e realidade aumentada, voltados para o ensino de pensamento computacional a crianças com TEA e TPS. A escolha desse público se fundamenta na demanda por abordagens pedagógicas inclusivas que considerem as especificidades sensoriais, cognitivas e sociais de crianças neurodivergentes.

3.2.1 Crianças com Transtorno do Espectro Autista

O TEA é caracterizado por desafios persistentes na comunicação social e por padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2014). Crianças no espectro do autismo apresentam uma gama de variedades de perfis de funcionamento, o que exige abordagens educacionais personalizadas. No contexto da aprendizagem, é comum que apresentem preferências por estímulos visuais, previsibilidade nas atividades e rotinas estruturadas, além de uma propensão ao foco intenso em áreas de interesse específico (BOSA, 2018).

Nesse sentido, ferramentas interativas que utilizam estímulos visuais e táteis, como TUIs e RA, podem favorecer o engajamento dessas crianças no processo de aprendizagem, ao mesmo tempo que respeitam suas características sensoriais e cognitivas.

3.2.2 Crianças com Transtorno do Processamento Sensorial

O TPS refere-se a uma disfunção neurológica que afeta a forma como o cérebro interpreta e responde aos estímulos sensoriais (MILLER et al., 2007). Crianças com TPS podem apresentar hipersensibilidade (aversão a sons, luzes intensas, toques) ou hipossensibilidade (necessidade de estímulos intensos para percepção). Essa condição afeta diretamente a forma como essas crianças interagem com o ambiente, influenciando sua atenção, regulação emocional e capacidade de aprendizagem.

A adoção de tecnologias educacionais que respeitem e adaptem-se aos limites sensoriais dessas crianças é essencial. TUIs permitem uma mediação física e direta com o conteúdo, enquanto a RA pode ser usada de forma controlada e adaptativa, contribuindo para a imersão e o engajamento sem sobrecarga sensorial.

3.2.3 Relevância do Recorte

Segundo estimativas da Organização Mundial da Saúde (2023), uma em cada 100 crianças no mundo é diagnosticada com TEA. Além disso, estudos indicam que até 90% das crianças no espectro do autismo também apresentam algum tipo de disfunção sensorial (TAVASSOLI et al., 2014). Diante desses dados, torna-se relevante desenvolver estratégias pedagógicas adaptadas que contemplem essas particularidades.

Ao propor a aplicação de TUIs e RA projetada no ensino do PC, este trabalho busca não apenas promover o desenvolvimento de habilidades cognitivas e lógico-computacionais, mas também ampliar a acessibilidade ao conteúdo, respeitando o perfil e as necessidades específicas do público-alvo.

3.3 Método: Design Centrado no Usuário

Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho, optou-se por utilizar o Design Centrado no Usuário (DCU) como método orientador do processo de concepção da solução (International Organization for Standardization, 2019).

O DCU é uma abordagem de desenvolvimento que coloca as necessidades, desejos, limitações e características do usuário no centro de todas as fases do processo de design. Segundo a norma International Organization for Standardization (2019), uma das principais referências internacionais sobre o tema, o DCU visa aumentar a usabilidade e a acessibilidade de sistemas interativos ao garantir que as soluções sejam moldadas em torno de uma compreensão profunda dos usuários e de seus contextos de uso.

Esse método é particularmente adequado para o presente trabalho, uma vez que o público-alvo é composto por crianças com necessidades específicas, o que exige cuidado com aspectos de acessibilidade, clareza de linguagem e mediação lúdica no design de interação (BARBOSA; SILVA, 2010; SHARP; ROGERS; PREECE, 2007). Crianças com TEA e TPS frequentemente apresentam respostas diferenciadas a estímulos visuais, auditivos e táteis, e, portanto, soluções tecnológicas voltadas a esse público devem considerar essas características desde o início do desenvolvimento (HASSENZAHL; TRACTINSKY, 2006; GOODWIN; COOPER, 2011).

3.3.1 Etapas do Design Centrado no Usuário

De acordo com a norma International Organization for Standardization (2019) e complementada por autores como Sharp, Rogers e Preece (2007) e Garrett (2011), o processo de DCU é iterativo e envolve etapas fundamentais. Essas etapas são ilustradas na Figura 3 e conceituadas a seguir:

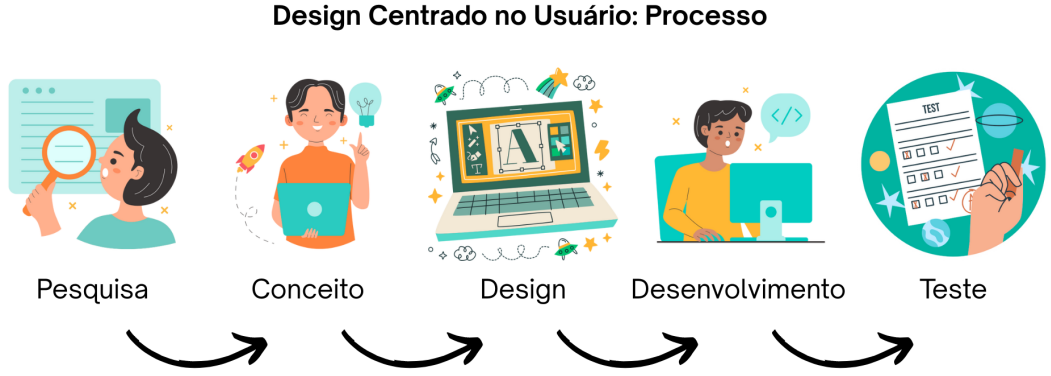
1. **Compreensão e especificação do contexto de uso:** Esta etapa envolve a identificação dos usuários finais, seus objetivos, tarefas e ambientes nos quais a solução será utilizada. No contexto deste TCC, isso significou estudar as características cognitivas e sensoriais de crianças com TEA ou TPS (ou ambos), além de mapear práticas pedagógicas voltadas ao ensino de PC, com ênfase na inclusão.

2. **Especificação dos requisitos do usuário:** A partir da compreensão do contexto, são definidos os requisitos de usabilidade e acessibilidade. Neste trabalho, os requisitos foram levantados com base em revisão bibliográfica e em diretrizes de design acessível para pessoas com TEA ou TPS (ou ambos) (ROBERTS; TREVIRANUS; WATKINS, 2020; AL-AZAWEI; SERENELLI; LUNDQVIST, 2016). Isso inclui, por exemplo, evitar sobrecarga sensorial, usar estímulos visuais previsíveis e permitir interações simples e intuitivas.

3. **Geração de soluções de design:** A etapa de concepção da interface e das interações é realizada com base nos requisitos identificados. Neste projeto, isso incluirá a elaboração de uma TUI com elementos em RA projetada a serem utilizados na proposta educacional, utilizando a ferramenta *PyGame* para o desenvolvimento. O design e a integração com objetos físicos visam facilitar a compreensão de conceitos computacionais por meio de experiências sensoriais e concretas (RESNICK et al., 2009b).

4. **Avaliação das soluções:** Embora o método de DCU preveja a avaliação iterativa com usuários reais, neste trabalho essa etapa será tratada de forma exploratória, por meio de testes de software e análise do atendimento aos requisitos levantados. A aplicação prática com o público-alvo e a coleta de dados empíricos ficam propostas para trabalhos futuros, como etapa complementar de validação da solução.

Figura 3 – Etapas do Design Centrado no Usuário



Fonte: Autores (2025).

3.3.2 Considerações Sobre a Escolha do Método

A escolha pelo DCU se justifica especialmente por sua capacidade de lidar com a diversidade de perfis, limitações e expectativas dos usuários, o que se alinha diretamente à proposta inclusiva deste TCC. Neste trabalho, aplicam-se as três primeiras etapas do método — compreensão, levantamento de requisitos e concepção — de modo a estruturar uma base sólida para o desenvolvimento e para trabalhos futuros de avaliações com usuários. Assim, o projeto mantém a coerência metodológica com o DCU, mesmo que sua aplicação completa ocorra em fases posteriores.

3.4 Planejamento e Ferramentas

3.4.1 Cronogramas

O planejamento das atividades ao longo do desenvolvimento deste TCC foi estruturado com o intuito de garantir maior organização, clareza e eficiência no cumprimento das etapas propostas. Para isso, foram elaborados dois cronogramas que contemplam a parte um e a parte dois deste TCC, desde as fases iniciais até a fase final de entrega e apresentação.

Esse planejamento permite acompanhar o progresso das tarefas, definir prioridades e prever possíveis ajustes ao longo do processo. Além disso, contribui para o gerenciamento do tempo, minimizando atrasos e sobrecargas. As Tabelas 1 e 2 apresentam uma versão resumida do cronograma do TCC1 e do TCC2, respectivamente, destacando os marcos mais relevantes. Já nos Apêndices A e B, é possível consultar o cronograma completo de escrita do documento na primeira parte do TCC e o cronograma de desenvolvimento da aplicação na segunda parte do TCC, respectivamente.

Tabela 1 – Cronograma Geral (TCC1)

Atividade	**Data Inicial**	**Data Final**
Planejamento geral e definição do escopo do TCC	13/04/25	20/04/25
Levantamento bibliográfico para Referencial Teórico	20/04/25	04/05/25
Escrita do documento	04/05/25	29/06/25
Revisão geral, ajustes e normalização	29/06/25	17/07/25
Entrega Final	17/07/25	17/07/25
Slides e Preparação da Apresentação	13/07/25	20/07/25
Apresentação Simulada	20/07/25	20/07/25
Defesa Final do TCC 1	24/07/25	24/07/25

Fonte: Autores (2025).

Tabela 2 – Cronograma Geral (TCC2)

Atividade	**Data Inicial**	**Data Final**
Planejamento do escopo e requisitos detalhados	29/08/25	05/09/25
Desenvolvimento da aplicação	05/09/25	10/12/25
Ajustes de *feedbacks* do TCC 1 e alterações/adições para TCC 2	28/11/25	10/12/25
Entrega Final	10/12/25	10/12/25
Slides e Preparação da Apresentação	10/12/25	16/12/25
Apresentação Simulada	15/12/25	15/12/25
Defesa Final do TCC 2	16/12/25	16/12/25

Fonte: Autores (2025).

3.4.2 Ferramentas

Em adição, para apoiar o desenvolvimento do trabalho e a construção da aplicação proposta, foram selecionadas e adotadas diversas ferramentas tecnológicas, cada uma com um papel específico ao longo do processo. A seguir, são apresentadas as principais ferramentas utilizadas:

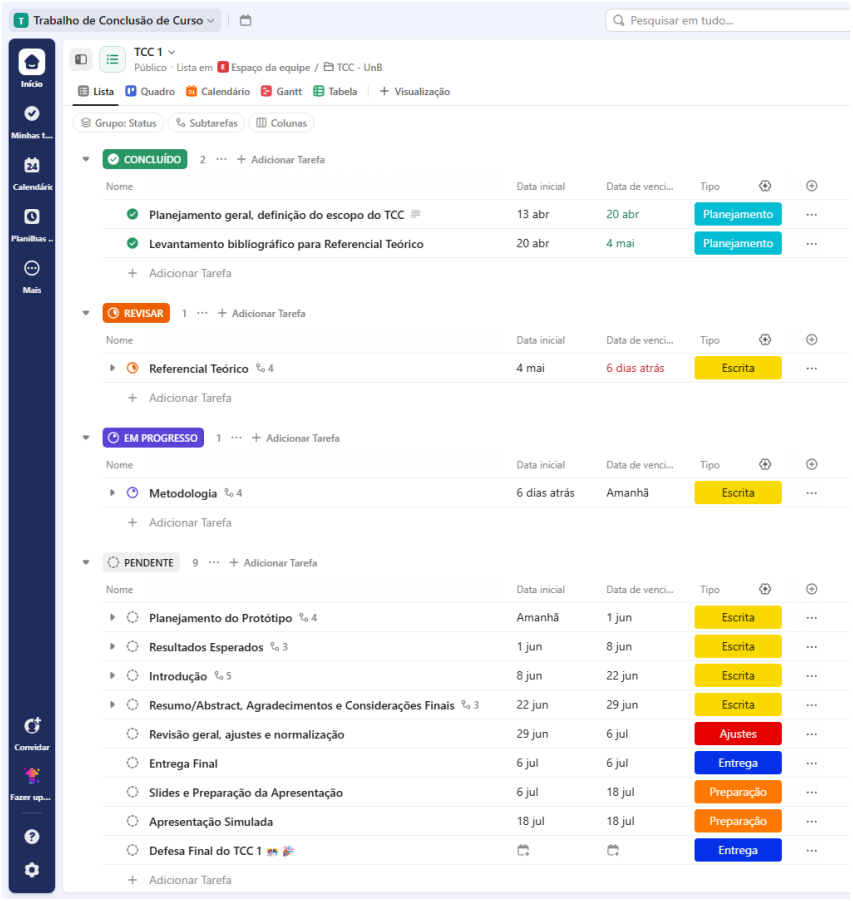
1. **Ferramentas de gestão e documentação:**

   - **Microsoft Teams:** ferramenta utilizada para a realização de reuniões virtuais semanais entre o orientador e os orientandos. Por meio dela, foram discutidas orientações, revisões de conteúdo e alinhamentos importantes para o avanço do trabalho.
   - **Telegram:** escolhido como meio de comunicação rápida, permitindo trocas de mensagens, dúvidas pontuais e atualizações entre o orientador e os orientandos de maneira prática e acessível.
   - **ClickUp:** plataforma adotada para o gerenciamento do cronograma e das tarefas relacionadas ao TCC. Com ela, foi possível acompanhar prazos, marcar atividades concluídas, delegar responsabilidades e manter um fluxo de trabalho organizado. A Figura 4 apresenta como foram organizadas as tarefas na ferramenta.
   - **Overleaf (LaTeX):** ferramenta colaborativa utilizada para a escrita do documento final. O uso do LaTeX permite uma formatação do texto acadêmico, facilitando a organização do conteúdo, referências bibliográficas e elementos gráficos como tabelas e figuras.

2. **Ferramentas de desenvolvimento:**

- **Cursor e IntelliJ IDEA:** ambientes de desenvolvimento integrados (IDEs) utilizados para a escrita, organização e depuração do código.
- **PyGame:** biblioteca da linguagem Python utilizada para o desenvolvimento e prototipação de elementos interativos da aplicação. Por meio dela, foi possível criar simulações e testar a lógica de funcionamento das interfaces tangíveis, além de implementar interações básicas com recursos gráficos e sonoros.
- **MediaPipe:** framework adotado para o reconhecimento de gestos em tempo real. A ferramenta foi essencial para o componente de visão computacional da aplicação.
- **OpenCV:** biblioteca de código aberto utilizada no processamento de imagens. Foi integrada à aplicação para realizar tarefas como detecção de contornos, filtragem de ruídos e identificação de marcadores visuais.
- **Roboflow:** plataforma utilizada para a montagem e gerenciamento do *dataset* de imagens. Por meio dela, foi possível organizar, rotular e preparar os dados visuais necessários para o treinamento do modelo dos artefatos tangíveis.
- **YOLOv8:** ferramenta empregada para o treinamento e ajuste do modelo de aprendizado de máquina. Sua utilização permitiu transformar o conjunto de imagens do *dataset* em um modelo capaz de reconhecer os artefatos tangíveis utilizados na aplicação.
- **Aseprite:** ferramenta empregada na criação dos elementos visuais em estilo *pixel art*, utilizados na interface da aplicação.
- **Autodesk Fusion:** software de modelagem 3D adotado para o desenvolvimento dos artefatos tangíveis e da estrutura física do projeto.

Figura 4 – Organização das tarefas no ClickUp



Fonte: Autores (2025).

A escolha dessas ferramentas se deu com base na sua adequação às necessidades específicas do projeto, bem como na familiaridade dos envolvidos com suas funcionalidades. Juntas, elas proporcionam suporte técnico e organizacional, contribuindo diretamente para a qualidade e o êxito deste TCC.

4 Planejamento da Proposta

4.1 Explicação da Proposta

A proposta escolhida neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é a criação de uma aplicação que combina Interface Tangível do Usuário (TUI) e Realidade Aumentada (RA) projetada, com foco no ensino de conceitos básicos do Pensamento Computacional (PC) para crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) ou Transtorno do Processamento Sensorial (TPS) (ou ambos). A escolha por essa abordagem parte do princípio de que o aprendizado se torna mais significativo quando está ancorado em experiências sensoriais ricas, lúdicas e visuais, especialmente para o público-alvo em questão.

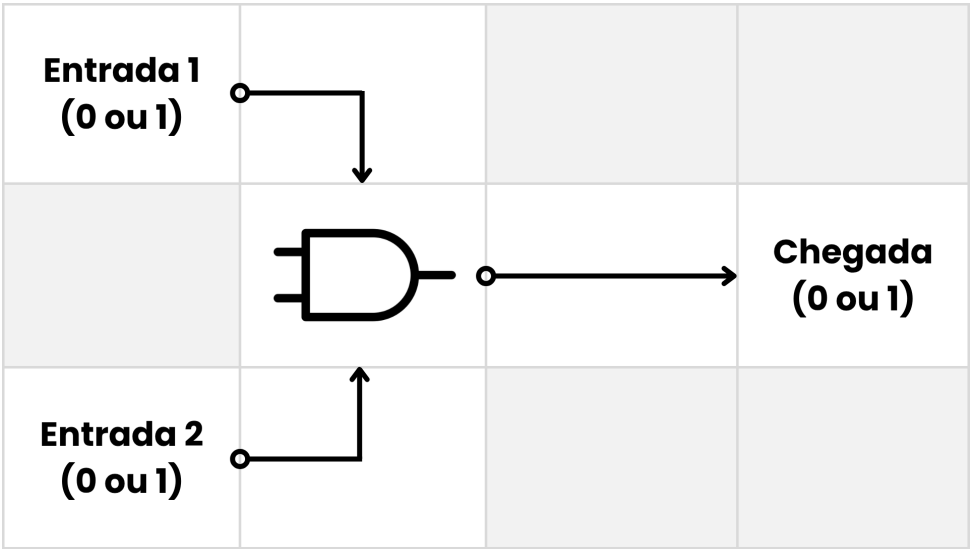
Durante o processo de definição do conteúdo conceitual da aplicação, foram analisados diversos temas associados ao ensino do PC, como sequenciamento, decomposição, reconhecimento de padrões, abstração e lógica. Dentre esses, optou-se por dar ênfase à **lógica booleana** por seu potencial de promover o raciocínio lógico e estrutural. Esse foco também se alinha à proposta de introduzir noções de eletrônica e programação.

A proposta consiste em: a criança recebe uma fase com um desafio lógico onde são dadas duas entradas, que podem assumir os valores 0 ou 1 (ou seja, falso ou verdadeiro, respectivamente). O objetivo é que, utilizando os artefatos tangíveis disponíveis com as portas lógicas **E** (*AND*), **OU** (*OR*) e **NÃO** (*NOT*), a criança consiga montar uma sequência que leve ao resultado lógico final desejado para aquela fase.

Essas três portas foram escolhidas intencionalmente por constituírem o conjunto funcionalmente completo mais elementar da lógica booleana, sendo suficientes para construir qualquer circuito lógico. Além disso, são as mais comuns e didaticamente apropriadas para introduzir os conceitos fundamentais de operações lógicas, uma vez que sua estrutura e comportamento são mais intuitivos. Portas compostas como *NAND*, *NOR* e *XOR*, embora importantes na eletrônica digital, envolvem camadas adicionais de abstração, o que pode dificultar a compreensão inicial.

Os **artefatos tangíveis** enriquecidos por RA projetada serão o ponto central da interação. A criança utilizará artefatos físicos para representar as entradas, as portas lógicas e os percursos a serem construídos. Para garantir a organização e facilitar o uso, a aplicação será estruturada com base em uma **matriz** de três linhas, onde cada célula representa um espaço disponível para um artefato tangível. A quantidade de colunas variará conforme a complexidade da fase, ou seja, quanto mais difícil o desafio, maior será a área da matriz, permitindo mais combinações e portas lógicas. A Figura 5 demonstra um exemplo de matriz de alguma fase inicial, utilizando apenas uma porta lógica, neste

Figura 5 – Exemplo de matriz de fases iniciais com porta lógica E (*AND*)



Fonte: Autores (2025).

caso o E (*AND*), com 4 colunas.

Essa matriz servirá como estrutura lógica da aplicação. É por meio dela que o sistema reconhecerá a posição dos artefatos tangíveis colocados, interpretando os caminhos criados e validando se o resultado final está correto. Cada artefato tangível ocupará exatamente uma célula disponível da matriz, o que facilita o reconhecimento computacional da posição e da função lógica envolvida.

Para isso, será utilizada uma câmera associada a um sistema de visão computacional, responsável por identificar os artefatos físicos sobre a matriz e converter essas informações em entradas (*inputs*) para o sistema digital, permitindo a interação entre o ambiente físico e o virtual.

Para tornar essa experiência mais interessante e amigável, especialmente para um público infantil, a aplicação será contextualizada com um ***storytelling***. Para fins de prova de conceito, foi desenvolvida apenas uma fase; no entanto, em trabalhos futuros, a proposta é que cada fase represente um pequeno desafio dentro de uma narrativa divertida. Essa camada narrativa não apenas dá vida à mecânica lógica, como também ajuda na manutenção do foco, estimula a criatividade e gera motivação contínua ao longo das fases (COOPER; DANN; PAUSCH, 2003; SMITH et al., 2020).

Por fim, o uso da **RA projetada**, onde a projeção acontece diretamente sobre a mesa, permite uma interação natural, sem a necessidade de dispositivos como óculos ou *tablets* nas mãos da criança, em que, por se tratar de uma interface compartilhada no espaço físico, também favorece a interação social entre as crianças. O sistema reconhece os artefatos físicos colocados na matriz e projeta visualmente os resultados, animações e

feedbacks diretamente sobre a superfície de interação.

4.2 Levantamento de Requisitos

O presente trabalho tem como proposta uma solução utilizando TUIs, RA e o ensino do PC para crianças com TEA ou TPS (ou ambos). A definição dessa área de pesquisa se deu pelo fato de que as atuais formas de abordagens educacionais tradicionais nem sempre atendem adequadamente aos estilos de aprendizagem únicos e às necessidades sensoriais dessas crianças neurodivergentes (KAMARUZAMAN; MAJID; MUKMIN, 2023). Nesse sentido, as TUIs oferecem um meio de tornar conceitos abstratos através da manipulação física (ANDO, 2023), o que pode ser particularmente benéfico para aprendizes que prosperam com experiências táteis e cinestésicas (KURNAZ, 2025). Por sua vez, a RA emerge no intuito de enriquecer essas interações tangíveis ao sobrepor informações digitais dinâmicas e interativas, tornando a aprendizagem mais compreensível e, sobretudo, gerando aumento da motivação e do engajamento dos alunos, além de auxiliar na resolução de problemas e na depuração (FADILLAH et al., 2025). Já o PC estabelece-se como uma competência-chave na resolução de problemas complexos. Ele capacita o indivíduo a decompor desafios, reconhecer padrões e formular soluções de forma lógica e estruturada. No entanto, revisões da literatura indicam a falta de abordagens para o ensino de PC e habilidades de resolução de problemas para crianças com TEA ou TPS (ou ambos) (ELSHAHAWY et al., 2022).

O processo de levantamento de requisitos para este TCC, como explicado na metodologia, adota uma abordagem de Design Centrado no Usuário (DCU), com foco nas necessidades específicas de crianças com TEA ou TPS (ou ambos). Fundamentado em revisões da literatura, o foco da investigação se desloca da perspectiva funcional do sistema para a perspectiva humana do usuário. Assim, a questão norteadora não é "O que o sistema deve fazer?", mas sim "Quais estratégias e adaptações no ambiente escolar são eficazes para atender às necessidades cognitivas, emocionais e sensoriais de crianças com TEA e TPS, visando promover sua aprendizagem, segurança e engajamento?". Os subtópicos subsequentes se dedicarão a traduzir os desafios e características identificados na literatura em requisitos de design aplicáveis à TUI e à RA propostas.

4.2.1 Perfil do Usuário: Compreendendo a Criança com TEA ou TPS

Para fundamentar o levantamento de requisitos sob a ótica do usuário, a etapa seguinte consiste na caracterização detalhada do perfil do público-alvo. Esta análise é importante, pois permite traduzir as necessidades abstratas — aprender, sentir-se seguro e engajar-se — em diretrizes de design concretas.

A estruturação do perfil do usuário a partir dos três eixos interdependentes — Estilo de Aprendizagem e Cognição, Perfil Emocional e Perfil Social — foi estabelecida com base em uma análise da literatura sobre aprendizagem e IHC. Esta abordagem foi adotada por se reconhecer que uma compreensão holística do usuário vai além da análise puramente cognitiva.

O eixo Cognitivo ancora-se em décadas de pesquisa sobre modelagem do aluno e estilos de aprendizagem (BRUSILOVSKY, 2012; FELDER; SILVERMAN, 1988), focando em como o indivíduo aprende. O eixo Emocional, por sua vez, incorpora as contribuições da Computação Afetiva (PICARD, 1997) e estudos sobre o impacto das emoções no engajamento (D'MELLO; GRAESSER, 2012), abordando como o indivíduo se sente ao aprender. Finalmente, o eixo Social fundamenta-se nas teorias socioculturais da aprendizagem (VYGOTSKY, 1978) e no campo da Aprendizagem Colaborativa Apoiada por Computador (CSCL), considerando com quem e em que contexto o indivíduo aprende.

Dessa forma, a escolha por esta estrutura de três eixos interdependentes reflete uma síntese das dimensões consideradas essenciais pela literatura para criar experiências de aprendizagem personalizadas.

- **Estilo de Aprendizado e Cognição**:
  - **Pensador Lógico e Visual**: A criança geralmente se beneficia de ambientes estruturados, lógicos e previsíveis (KURNAZ, 2025). Possui, frequentemente, fortes habilidades de processamento visual, o que torna abordagens que usam imagens e representações visuais eficazes (CAMARGO et al., 2019).
  - **Dificuldade com Abstração**: A criança pode ter dificuldade em compreender conceitos abstratos (KURNAZ, 2025). Para ela, aprender é mais eficaz quando as ideias são apresentadas de forma concreta e tangível, através de materiais concretos (KURNAZ, 2025).
  - **Necessidade de Foco**: A criança pode se distrair facilmente com elementos irrelevantes ou excesso de informação. Um ambiente de aprendizagem limpo e focado é essencial (ELSHAHAWY et al., 2022).

- **Perfil Sensorial**:
  - **Sensibilidade Variável**: A criança pode apresentar hipersensibilidade (muito sensível) ou hipossensibilidade (pouco sensível) a estímulos. Isso varia para cada sentido e para cada indivíduo (AYRES; ROBBINS, 2005).
  - **Necessidades Táteis Específicas**: A criança pode buscar ou evitar ativamente certas texturas. O tipo de toque também importa: pressão profunda

pode ser calmante, enquanto toques leves podem ser aversivos ou superestimulantes (PHYSIOPEDIA, 2024).

  - **Sobrecarga Sensorial**: Estímulos excessivos, como luzes piscantes, sons altos e repentinos ou desordem visual, podem causar estresse, ansiedade e sobrecarga, impedindo a aprendizagem (PERGANTIS et al., 2025).

- **Perfil Emocional e Social**:

  - **Necessidade de Previsibilidade**: A criança se sente mais segura e menos ansiosa quando as interações são consistentes e previsíveis. Surpresas ou comportamentos inesperados do sistema podem ser angustiantes (KRANOWITZ, 2005).
  - **Ansiedade de Desempenho**: A criança pode sentir uma pressão significativa para acertar e ter medo de cometer erros. Uma falha pode ser percebida como algo muito negativo, gerando frustração e abandono da atividade (KRANOWITZ, 2005).
  - **Interação Social**: Embora possa ter dificuldades na interação social, a tecnologia pode funcionar como uma ferramenta de apoio ou uma "rede de segurança" que facilita a comunicação e a colaboração de forma mediada (FARR; YUILL; RAFFLE, 2010).

4.2.2 Requisitos de Usuário

Os Requisitos do Usuário (RUs) apresentados a seguir foram definidos com base na análise do perfil do público-alvo da aplicação, levando em consideração não apenas suas preferências e habilidades cognitivas, mas também aspectos sensoriais, emocionais e de acessibilidade.

A Tabela 3 apresenta os requisitos relacionados às necessidades cognitivas e de aprendizagem, destacando pontos para que o conteúdo da aplicação seja assimilado de forma clara, progressiva e significativa para o usuário. Já a Tabela 4 aborda as necessidades sensoriais e de acessibilidade, de forma que a proposta seja utilizável por pessoas com diferentes limitações visuais, auditivas ou motoras. Por fim, a Tabela 5 reúne os requisitos voltados para as necessidades emocionais e de engajamento, buscando assegurar que a experiência da aplicação seja motivadora, divertida e capaz de manter o interesse dos jogadores ao longo do tempo.

Tabela 3 – Requisitos do Usuário: Necessidades Cognitivas e de Aprendizagem

ID	**Requisito do Usuário**	**Justificativa**
RU-C1	**Deve manipular conceitos abstratos de forma concreta.**	A criança precisa ser capaz de pegar, mover e conectar objetos físicos que representem comandos de programação (ex: "avançar", "virar"). Isso torna a lógica do código visível e palpável, reduzindo a dificuldade com a abstração (KURNAZ, 2025).
RU-C2	**Deve receber instruções claras, curtas e uma de cada vez.**	A criança precisa que as tarefas sejam explicadas de forma direta e sequencial. Instruções longas ou múltiplas de uma só vez aumentam a carga cognitiva e podem causar confusão (KURNAZ, 2025; CAMARGO et al., 2019).
RU-C3	**Devem ter tarefas complexas sejam divididas em partes menores.**	A criança precisa de um sistema que ofereça "andaimes" (*scaffolding*), começando com desafios simples e aumentando a dificuldade gradualmente. Isso evita a frustração e constrói um senso de competência (KURNAZ, 2025; CAMARGO et al., 2019).
RU-C4	**Deve ver o resultado de suas ações de forma imediata e clara.**	Ao montar uma sequência de artefatos tangíveis, a criança precisa ver imediatamente o que acontece no ambiente de RA. Esse *feedback* instantâneo é importante para que ela entenda a relação de causa e efeito (KURNAZ, 2025).
RU-C5	**Deve entender *por que* seu programa não funcionou e como consertá-lo.**	A criança precisa de um *feedback* que não apenas aponte o erro, mas que o faça de forma construtiva. A RA pode visualizar onde o "*bug*" aconteceu, transformando a depuração em um quebra-cabeça a ser resolvido, não em uma falha (CAMARGO et al., 2019; KURNAZ, 2025).
RU-C6	**Deve focar na tarefa sem distrações desnecessárias.**	A criança precisa de uma interface (física e digital) limpa, sem botões, animações ou elementos visuais que não sejam essenciais para a atividade. Controles extras devem ser removidos para manter o foco no objetivo de aprendizagem (KURNAZ, 2025; CAMARGO et al., 2019).

Fonte: Autores (2025).

Tabela 4 – Requisitos de Usuário: Necessidades Sensoriais e de Acessibilidade

ID	Requisito do Usuário	Justificativa
RU-S1	**Deve haver uma experiência visual limpa, de alto contraste e sem sobrecarga.**	A criança precisa de visuais simples e claros. Animações rápidas, brilho excessivo ou muitas cores vibrantes podem ser visualmente opressores. A interface deve ser calma e legível (CAMARGO et al., 2019; ELSHAHAWY et al., 2022).
RU-S2	**Deve haver uma experiência auditiva previsível, controlável e significativa.**	A criança precisa que os sons sejam usados para reforçar a aprendizagem (ex.: um som agradável para o sucesso), e não como mero adorno. Ela deve poder controlar o volume, e os sons devem ser consistentes para não causar surpresa ou ansiedade (CAMARGO et al., 2019; KURIAN, 2025).
RU-S3	**Deve haver todos os estímulos (visuais, sonoros) sejam consistentes entre si.**	A criança precisa de coerência. Um som alegre deve acompanhar uma animação feliz. Inconsistências entre o que se vê e o que se ouve podem ser extremamente desorientadoras e angustiantes (CAMARGO et al., 2019).
RU-S4	**Deve ter objetos físicos (tangíveis) tenham texturas, pesos e formas adequadas.**	A criança precisa de artefatos tangíveis que sejam fáceis de manusear, sem arestas cortantes. A escolha do material (madeira, plástico liso, etc.) é crucial, pois certas texturas podem ser aversivas. O design deve considerar as habilidades motoras (PERGANTIS et al., 2025; PHYSIOPEDIA, 2024).
RU-S5	**Deve ter a opção de personalizar a experiência sensorial.**	Dado que o espectro é vasto, a criança se beneficiaria imensamente se pudesse escolher um "tema" visual (ex: cores calmas vs. vibrantes) ou um conjunto de sons, adaptando o sistema ao seu perfil sensorial único (KURNAZ, 2025; KURIAN, 2025).

Fonte: Autores (2025).

Tabela 5 – Requisitos do Usuário: Necessidades Emocionais e de Engajamento

ID	Requisito do Usuário	Justificativa
RU-E1	**Deve se sentir seguro para tentar e errar sem sentir que falhou.**	A criança precisa interagir com um sistema que trate os erros como parte natural do aprendizado. A interface deve ter uma agente virtual de "parceiro" ou "ajudante" que a encoraja, em vez de uma figura de autoridade que a julga. O *feedback* de erro não pode ser punitivo (CAMARGO et al., 2019).
RU-E2	**Deve se sentir motivado por um senso de propósito e conquista.**	A criança precisa de objetivos claros e da sensação de que está progredindo. Elementos como histórias envolventes, desafios crescentes e recompensas pelo esforço são mais eficazes do que a competição (KURNAZ, 2025).
RU-E3	**Deve sentir que tem controle e autonomia sobre a experiência.**	A criança precisa ter a liberdade de explorar e, por vezes, de brincar de forma aberta, sem um objetivo rígido. Permitir que ela personalize elementos (como o nome de um personagem) ou controle o ritmo da atividade aumenta o senso de agência e o engajamento (KURNAZ, 2025; CAMARGO et al., 2019).
RU-E4	**Deve interagir com personagens ou avatares que sejam visualmente atraentes e não ameaçadores.**	A criança pode se engajar mais com um robô ou uma mascote de aparência amigável do que com um avatar excessivamente humanoide. A aparência do agente virtual importa para o conforto e engajamento (PERGANTIS et al., 2025).

Fonte: Autores (2025).

4.3 Requisitos Funcionais e Não Funcionais

Com base no levantamento de requisitos realizado e na análise de informações relevantes obtidas durante o processo de pesquisa, foram identificados e organizados os requisitos que orientaram a definição e o desenvolvimento da aplicação. Esses requisitos foram divididos em duas categorias principais: Requisitos Funcionais (RF), que descrevem as funcionalidades que o sistema deve apresentar, e Requisitos Não Funcionais (RNF), que abordam aspectos como desempenho, usabilidade e restrições técnicas. A seguir, são apresentadas as Tabelas 6 e 7, que listam, respectivamente, os requisitos não funcionais e funcionais definidos para o projeto, acompanhados de suas identificações, descrições e a partir de quais requisitos do usuário foi gerado o RF ou RNF. Essas tabelas são fundamentais para garantir que todas as necessidades levantadas sejam consideradas no desenvolvimento da proposta.

Tabela 6 – Requisitos Não Funcionais

ID	**Requisito Não Funcional**	**RU(s)**
RNF-1	A interface gráfica deve utilizar cores de alto contraste, fontes legíveis e evitar brilho excessivo.	RU-S1
RNF-2	O jogo deve ter uma interface livre de elementos visuais e botões desnecessários, com foco na tarefa principal.	RU-C6
RNF-3	Os sons devem ser consistentes, com volume ajustável e possibilidade de desativação.	RU-S2
RNF-4	O sistema deve assegurar que estímulos visuais e sonoros ocorram de maneira sincronizada e coerente.	RU-S3
RNF-5	Os artefatos tangíveis devem ser construídos com materiais seguros, com formas fáceis de pegar e texturas variadas.	RU-S4
RNF-6	O sistema deve apresentar desempenho em tempo real, sem atrasos perceptíveis entre a interação física e o feedback em RA.	RU-C4
RNF-7	O mascote/guia deve ter aparência amigável e não antropomórfica em excesso.	RU-E4

Fonte: Autores (2025).

Tabela 7 – Requisitos Funcionais

ID	**Requisito Funcional**	**RU(s)**
RF-1	O sistema deve permitir ao usuário posicionar fisicamente os artefatos tangíveis de portas lógicas (*AND*, *OR*, *NOT*) e entradas de valores (1 ou 0) na matriz tangível.	RU-C1
RF-2	O sistema deve fornecer instruções curtas, claras e sequenciais no início de cada fase.	RU-C2
RF-3	O jogo deve dividir as fases em dificuldades crescentes, com aumento da complexidade ao longo dos níveis.	RU-C3
RF-4	O sistema deve exibir em tempo real o resultado lógico do caminho montado, utilizando RA projetada.	RU-C4
RF-5	O sistema deve fornecer *feedback* visual e auditivo em caso de erro, explicando a razão do erro de forma construtiva.	RU-C5
RF-6	O sistema deve oferecer uma mascote/guia amigável que incentive o usuário durante o jogo, sem julgamentos.	RU-E1, RU-E4
RF-7	O sistema deve oferecer recompensas visuais e sonoras após a conclusão de cada fase.	RU-E2
RF-8	O sistema deve permitir ao usuário controlar o ritmo de execução da fase (como botão de repetir instruções ou recomeçar).	RU-E3
RF-9	O sistema deve permitir que o usuário personalize o nome do avatar ou mascote.	RU-E3
RF-10	O sistema deve exibir *feedbacks* coerentes entre som e imagem (como som alegre para animação de sucesso).	RU-S3
RF-11	O sistema deve permitir que o jogador selecione diferentes temas sensoriais (visual e sonoro).	RU-S5
RF-12	O jogo deve oferecer um modo tutorial com *feedback* interativo e assistido.	RU-C2, RU-C5
RF-13	O sistema deve detectar automaticamente a disposição dos artefatos tangíveis por meio da leitura óptica.	-
RF-14	O sistema deve permitir ajustar o nível de contraste e brilho da interface visual.	RU-S1, RU-S5
RF-15	A interface deve permitir ajuste de tamanho da fonte e espaçamento entre os elementos.	RU-S1

Fonte: Autores (2025).

5 Desenvolvimento da Aplicação

Após a etapa de concepção e definição dos requisitos gerais, iniciou-se o processo de planejamento e desenvolvimento da aplicação proposta. Esta fase teve como foco transformar as ideias, objetivos e requisitos estabelecidos em uma solução final, integrando os componentes de software, hardware e interação tangível em um sistema.

A aplicação foi dividida em diferentes frentes de trabalho, cada uma abordando um aspecto da experiência:

1. O jogo em si, que envolve o *storytelling*, a interface, a fase e as lógicas de configuração;
2. Os artefatos tangíveis, responsáveis pela interação física;
3. O sistema de visão computacional, encarregado de reconhecer e processar os artefatos e gestos;
4. A estrutura física, que integra a câmera e o projetor.

Cada uma dessas partes desempenha um papel no funcionamento do sistema. O jogo define a lógica e o enredo que guiam o aprendizado; os artefatos tangíveis tornam a experiência interativa; a visão computacional atua como elo entre o mundo físico e o digital; e a estrutura física possibilita a integração entre a interface, a visão computacional e as ações do usuário.

Nas seções a seguir, serão detalhados os principais aspectos técnicos e conceituais desenvolvidos em cada uma dessas áreas.

5.1 O Jogo

O jogo desenvolvido é o núcleo da aplicação proposta e representa a principal ponte entre os conceitos de Pensamento Computacional e a experiência lúdica e sensorial. Todo o enredo foi planejado para unir a lógica booleana a uma narrativa divertida e contextualizada.

5.1.1 Storytelling e Conceito

A narrativa do jogo é ambientada em uma fazenda, cenário escolhido por sua familiaridade, simplicidade visual e potencial para despertar o interesse infantil. O mascote

principal, uma "vaquinha", o guia que acompanha o jogador em todas as etapas da experiência, se junta à um Extraterrestre (ET) amigável que fornece suas naves. O objetivo central é ajudar a vaquinha a levar energia até um local onde é produzido o leite da fazenda, utilizando duas fontes de energia: a eólica e a solar.

Essas fontes representam as entradas lógicas (0 e 1) do sistema. A turbina eólica assume o valor 1 quando há vento e 0 quando não há, enquanto a placa solar assume o valor 1 quando está de dia e 0 quando está de noite. A presença ou a ausência de vento e sol é exibida visualmente e reforçada pela descrição da fase, de modo que a criança compreenda as condições do desafio.

A partir dessas entradas, o jogador deve montar um circuito lógico utilizando portas lógicas tangíveis — E (AND), OU (OR) e NÃO (NOT) — até conduzir a energia corretamente até o ponto de destino. Cada porta é representada por uma nave do ET, inspiradas nas lendas e histórias de presença de ETs em fazendas, reforçando o aspecto lúdico e simbólico da proposta. O resultado da montagem, ou seja, se a energia chega ou não ao destino, depende diretamente da combinação lógica das portas utilizadas.

5.1.2 Estrutura e Funcionamento

A base do jogo é uma matriz imaginária que funciona como uma representação de uma "protoboard" simplificada, onde são posicionados os artefatos tangíveis. Essa matriz possui sempre três linhas e um número variável de colunas, de acordo com a complexidade da fase. Cada célula disponível da matriz representa um espaço possível para a colocação de artefatos, sejam entradas (fontes de energia) ou portas lógicas.

As ligações entre as células, que representam o fluxo de energia, são exibidas visualmente na interface e, quando há ou não passagem de energia, há também *feedbacks* visuais, simulando a passagem de energia pelo circuito a partir da aparição do valor lógico 1 ou 0. Essa representação multimodal contribui para o entendimento conceitual e mantém a atenção da criança por meio de estímulos auditivos e visuais.

Quando o jogador conclui uma fase corretamente, o sistema fornece *feedback* positivo por meio de mensagens visuais de sucesso. Caso a lógica esteja incorreta, o sistema informa que a resposta não está correta.

5.1.3 Telas e Navegação

A aplicação possui duas telas principais: a tela de tutorial e a tela da fase.

A tela de tutorial é a primeira a ser exibida quando o jogo é iniciado. Nela, o jogador é introduzido à narrativa e às regras de funcionamento da aplicação. O tutorial é dividido em trechos sequenciais, cada um com trechos explicativos, permitindo que o

usuário avance, volte ao trecho anterior ou pule o tutorial, conforme desejar. A Figura 6 demonstra um exemplo de como ficou a tela de tutorial. Na figura, é apresentado um dos trechos introdutórios.

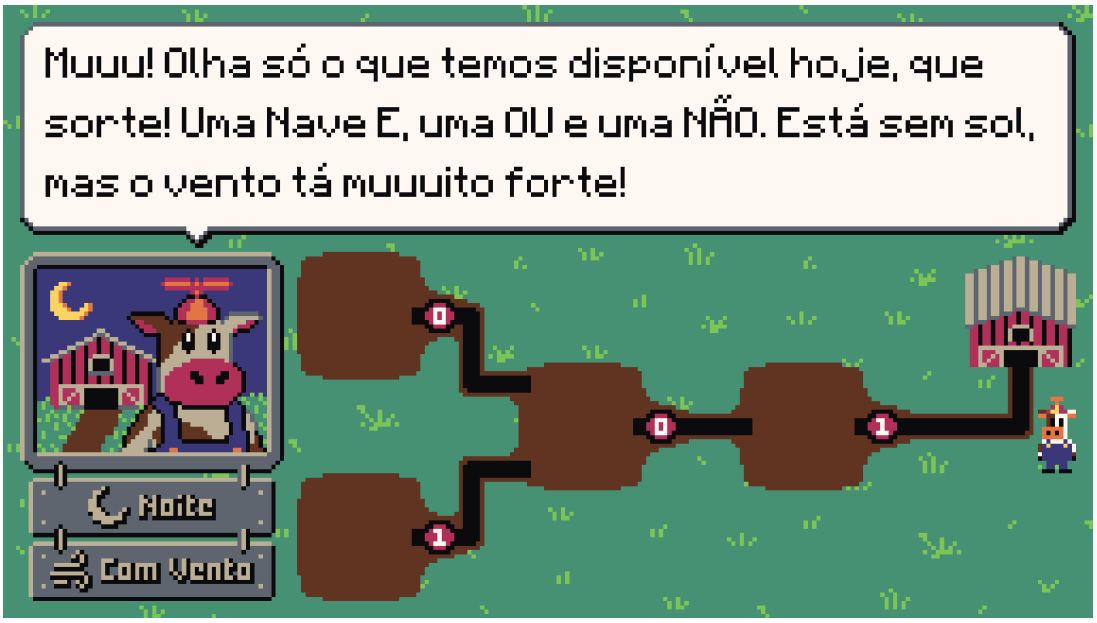
Figura 6 – Tela de tutorial em trecho inicial



Fonte: Autores (2025).

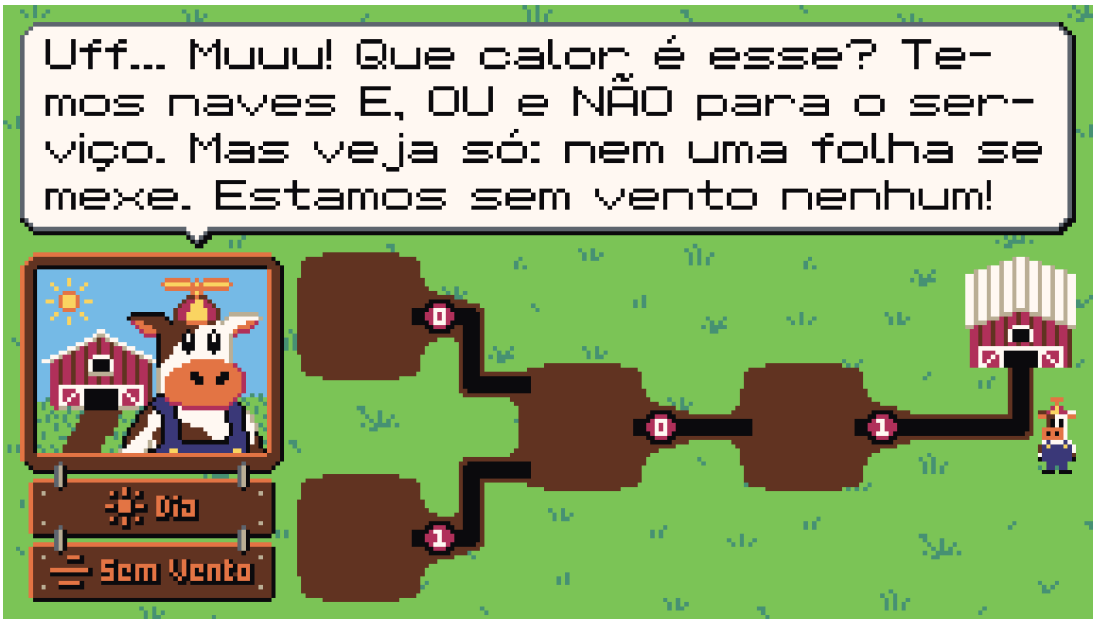
Após o tutorial, o jogador é direcionado à tela da fase, onde ocorre a interação principal. Essa tela contém a matriz imaginária com as células destinadas aos artefatos tangíveis, o texto descritivo da missão da fase, o mascote em posição de guia e os indicadores visuais das condições do ambiente (presença de sol e vento). A Figura 7 apresenta os contextos da fase quando está de noite, com vento e com configuração de tamanho de fonte médio. Já a Figura 8 apresenta os contextos da fase de dia, sem vento e com tamanho de fonte configurada para grande.

Figura 7 – Fase de noite, com vento e tamanho de fonte médio



Fonte: Autores (2025).

Figura 8 – Fase de dia, sem vento e tamanho de fonte grande



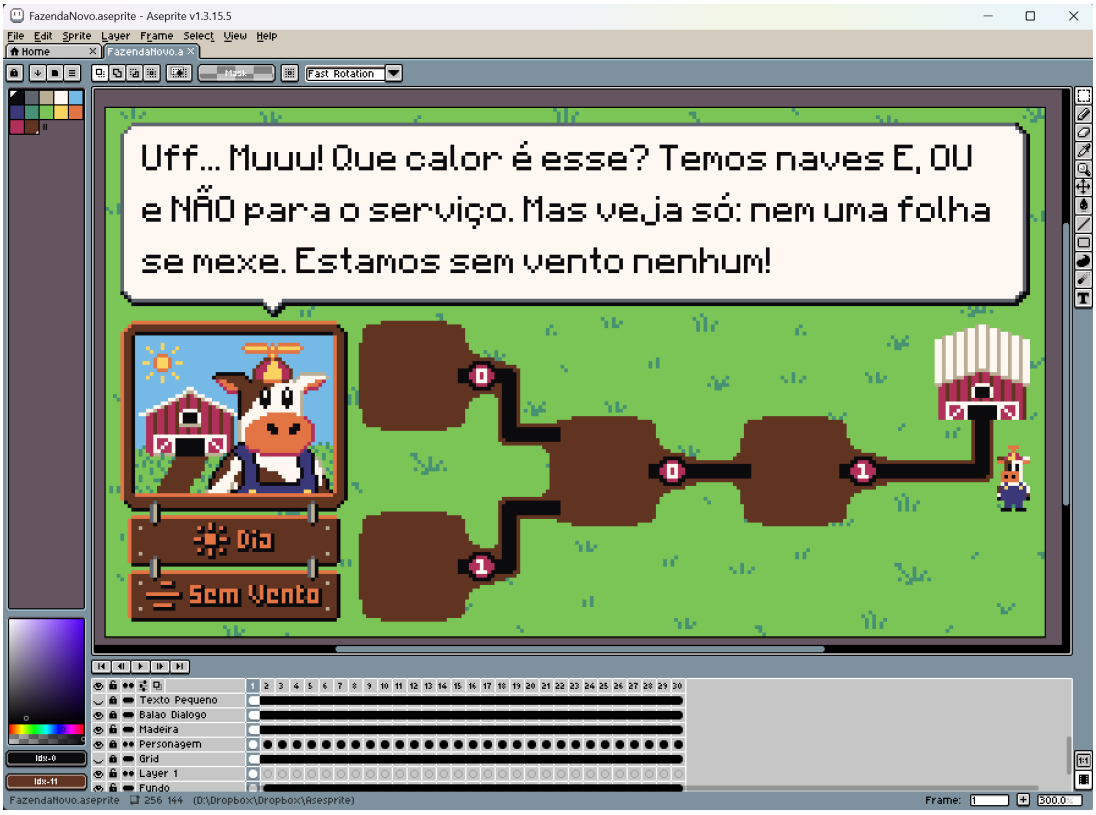
Fonte: Autores (2025).

5.1.4 Interface e Configurações

A interface do jogo foi desenvolvida em 2D, no estilo *pixel art*, utilizando a ferramenta Aseprite, como demonstrado na Figura 9, para a criação dos elementos gráficos. A escolha pelo *pixel art* foi motivada pela sua estética simples, cores bem definidas e facili-

dade de compreensão visual, características adequadas ao público-alvo. A paleta utilizada foi reduzida a 12 cores, evitando estímulos visuais excessivos.

Figura 9 – Interface de criação do Aseprite



Fonte: Autores (2025).

A aplicação também foi pensada para oferecer opções de acessibilidade, permitindo que cada criança ajuste a experiência conforme suas preferências sensoriais. São possíveis as seguintes configurações:

- **Tamanho da fonte:** dois níveis diferentes, adequando o texto às necessidades visuais do jogador;
- **Brilho da tela:** três intensidades de luminosidade;
- **Volume do áudio:** três níveis de som e opção de modo silencioso;
- **Modo de cor:** possibilidade de alternar entre a interface colorida (padrão) e uma versão em escala de cinza (preto e branco).

Essas opções são configuradas por meio de blocos tangíveis que, quando posicionados no local adequado e identificados a partir da visão computacional, ajustam a saída visual e sonora do sistema.

5.2 Artefatos Tangíveis

Por meio dos artefatos tangíveis, o jogador interage fisicamente com o sistema, tornando a experiência mais imersiva e lúdica. Esses artefatos foram pensados para traduzir os conceitos de lógica booleana e de configuração da interface em objetos físicos que se conectam ao universo do jogo e ao contexto da fazenda, onde toda a narrativa acontece.

5.2.1 Portas Lógicas

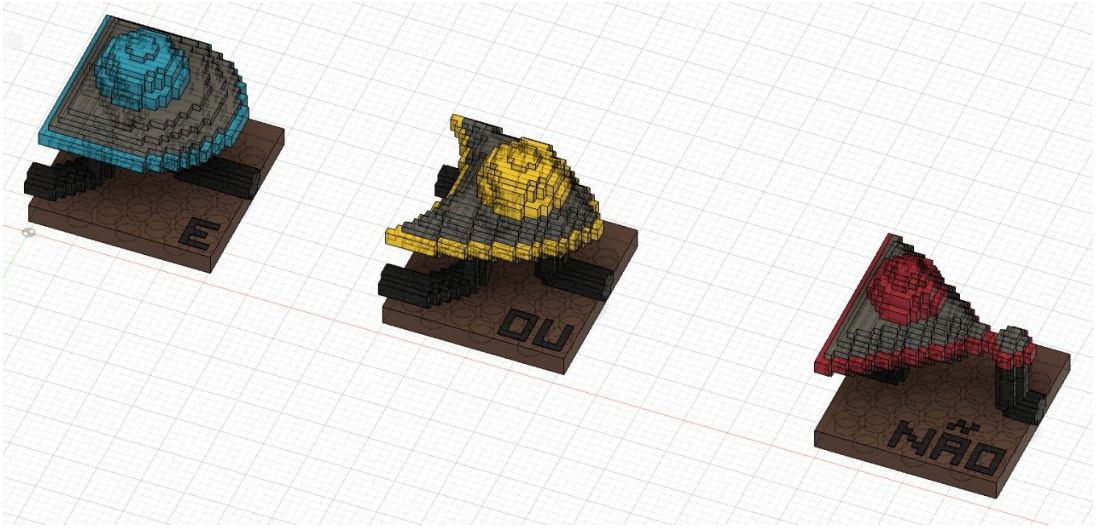
As portas lógicas são os blocos que permitem ao jogador montar a lógica necessária para conduzir a energia até o ponto final da fase. Cada porta foi projetada de forma a manter coerência com o cenário rural e, ao mesmo tempo, facilitar o reconhecimento pelo modelo de visão computacional.

- Porta AND (E) – Representada visualmente por uma **nave espacial azul** com o formato do símbolo gráfico da porta AND, que se assemelha a um semicírculo com uma parte plana. Na parte frontal do bloco, há a identificação da função com a letra "E", permitindo ao jogador associar o símbolo lógico ao seu significado funcional.
- Porta OR (OU) – Representada por uma **nave espacial amarela** com o formato do símbolo gráfico da porta OR, que se assemelha a uma ponta de lança curvada. O bloco é identificado com a inscrição "OU", para reforçar a correspondência lógica e facilitar o aprendizado visual.
- Porta NOT (NÃO) – Representada por uma **nave espacial vermelha** com o formato de triângulo do símbolo gráfico da porta NOT. Na sua superfície, aparece o texto "NÃO", identificando o tipo de operação.

Todos esses blocos foram modelados em 3D utilizando o software Autodesk Fusion e impressos em impressora 3D, a fim de obter maior precisão dimensional e durabilidade. Cada peça foi desenvolvida com base em proporções padronizadas para assegurar uma boa detecção pela câmera, bom encaixe dentro das células da matriz e conforto na manipulação pelos jogadores.

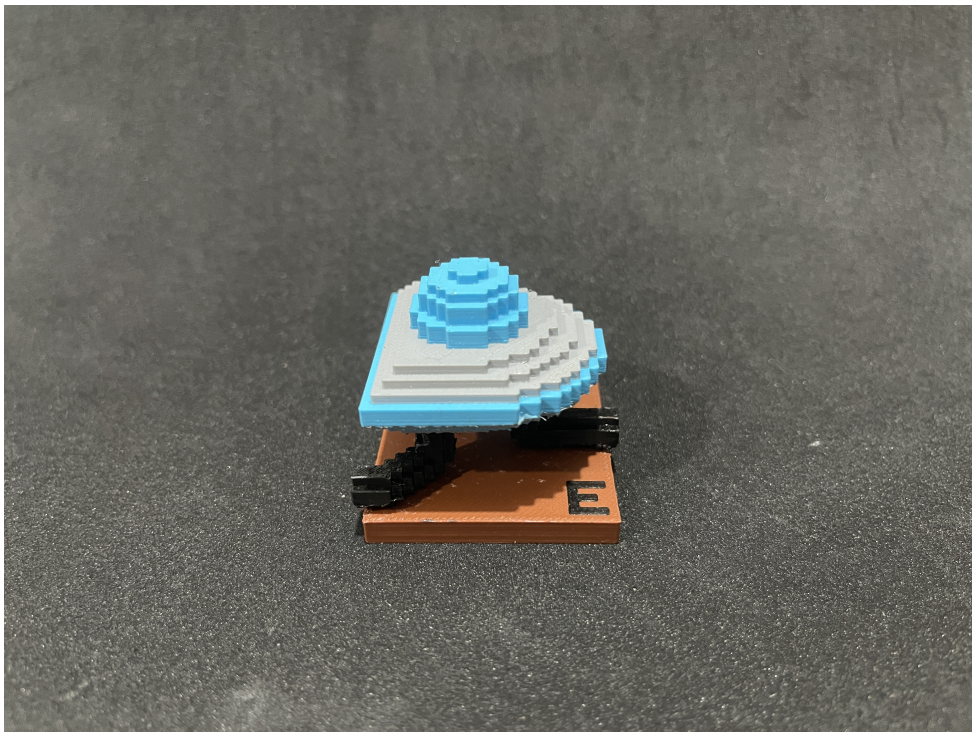
A Figura 10 ilustra as portas lógicas modeladas no software Autodesk Fusion, enquanto as Figuras 11, 12 e 13 apresentam os artefatos tangíveis AND, OR e NOT, respectivamente, em seu estado final.

Figura 10 – Portas AND, OR e NOT modeladas



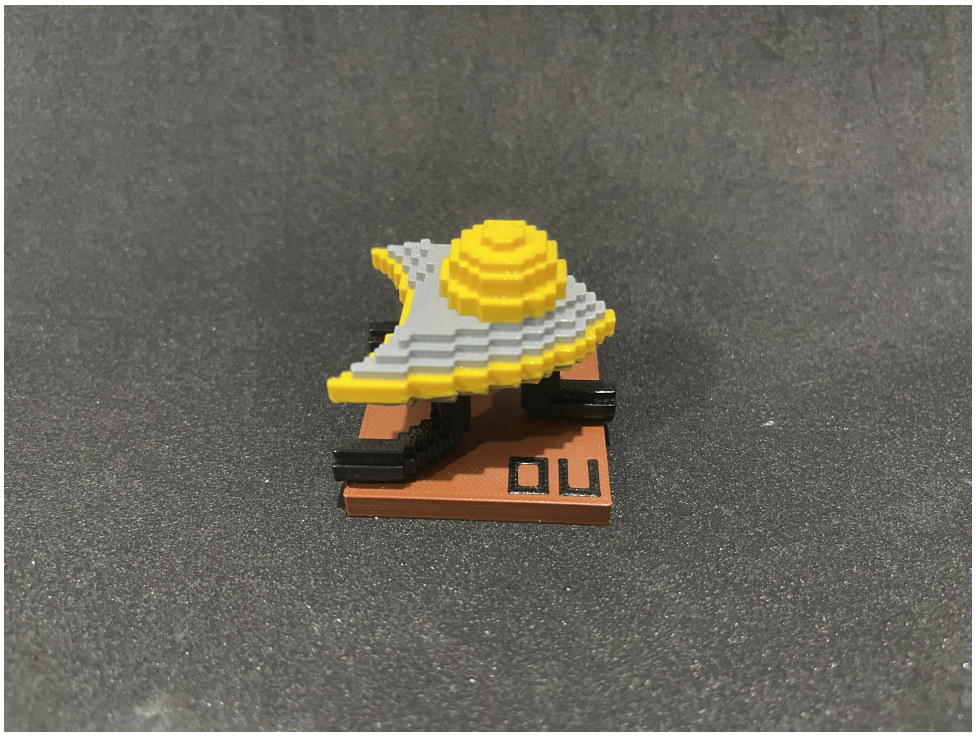
Fonte: Autores (2025).

Figura 11 – Porta AND em sua forma final



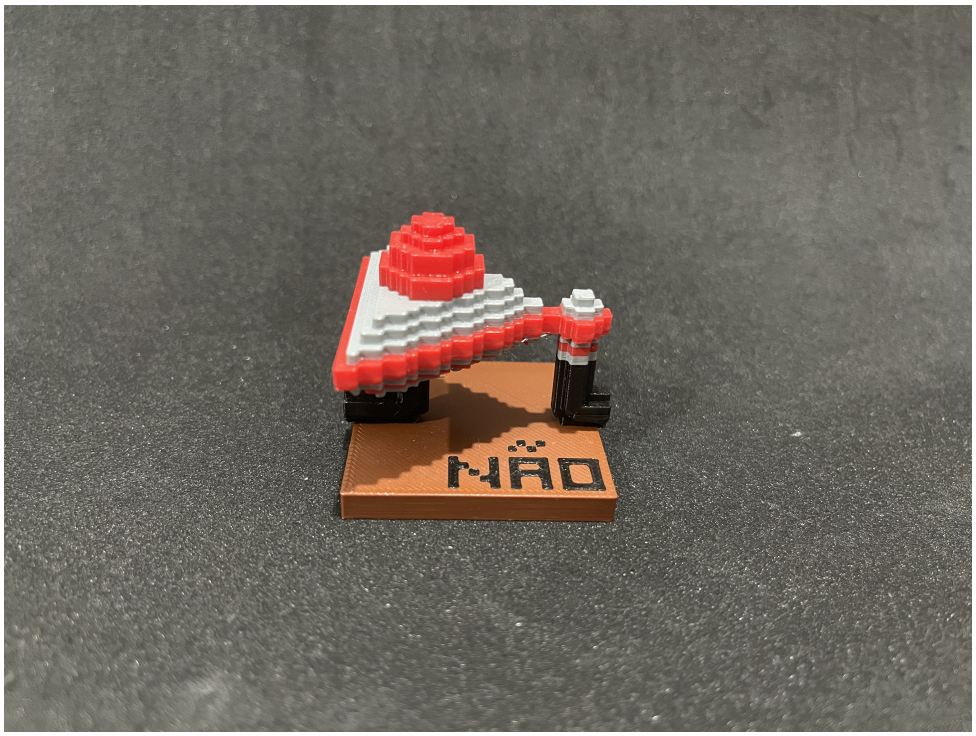
Fonte: Autores (2025).

Figura 12 – Porta OR em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

Figura 13 – Porta NOT em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

5.2.2 Inputs (Fontes de Energia)

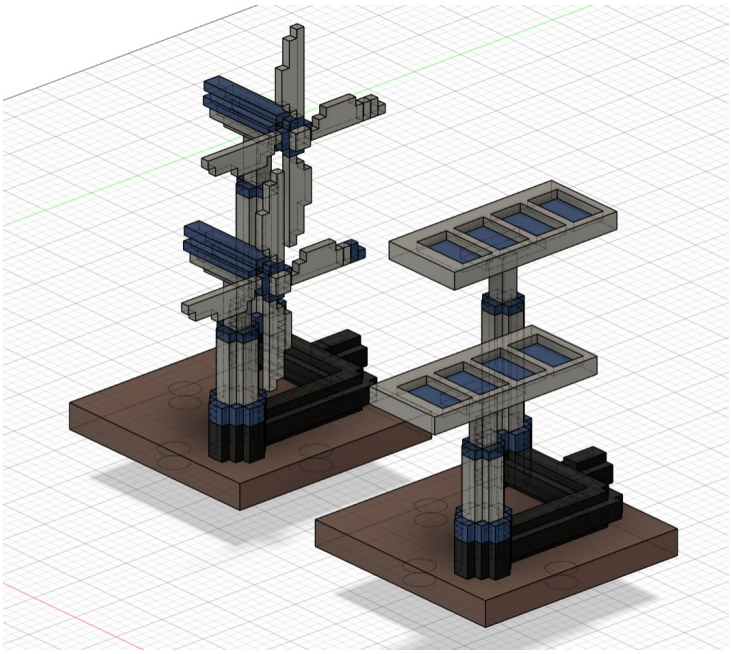
As fontes de energia funcionam como os inputs lógicos do jogo, representando os valores 1 (verdadeiro) e 0 (falso) de acordo com as condições ambientais definidas na fase. Assim, o jogador precisa considerar o contexto (sol ou vento) para planejar corretamente sua lógica.

- Turbina Eólica – Representa a energia proveniente do vento. Quando a fase indica que há vento, a turbina assume o valor 1; quando não há vento, seu valor é 0. O bloco tem o formato de pequenos cata-ventos.
- Placa Solar – Representa a energia gerada pelo sol. Durante as fases em que é dia e há sol, a placa solar corresponde ao valor 1; quando é noite, representa o valor 0. O design da peça traz superfícies quadriculadas azuladas que remetem aos painéis solares reais, facilitando tanto a identificação pelo jogador quanto pelo modelo de reconhecimento de imagem.

Esses dois blocos também foram criados no Autodesk Fusion e impressos em 3D, mantendo a mesma identidade visual e proporções das portas lógicas, para que todos os elementos físicos do jogo sigam uma estética coerente.

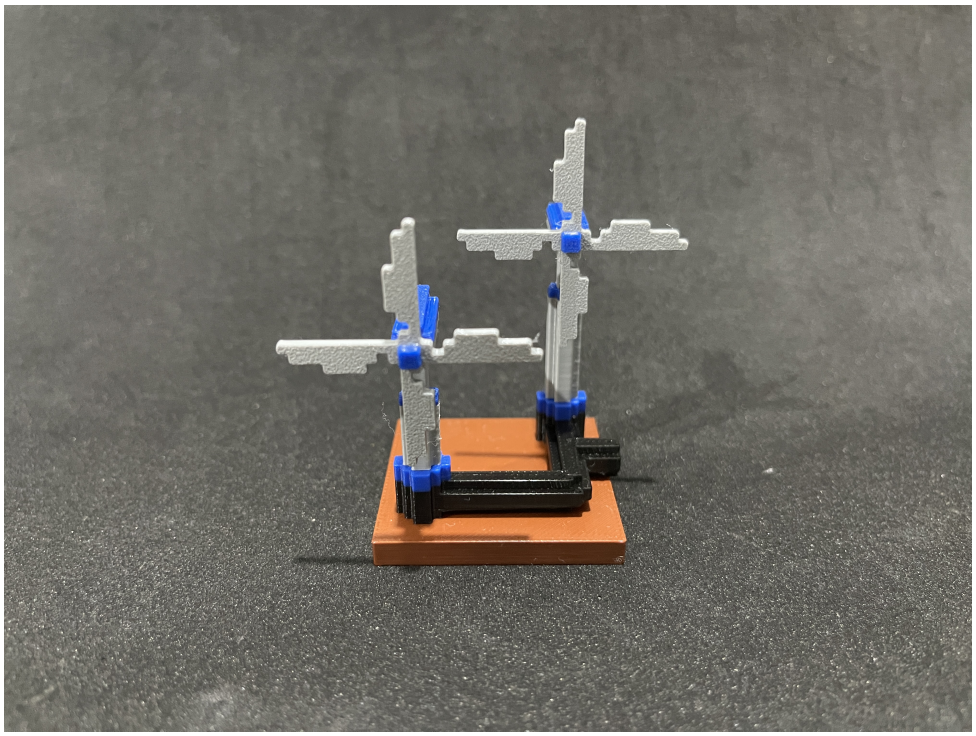
A Figura 14 ilustra os inputs lógicos modelados no software Autodesk Fusion, enquanto as Figuras 15 e 16 apresentam os artefatos tangíveis da turbina eólica e placa solar, respectivamente, em seu estado final.

Figura 14 – Turbina eólica e placa solar modeladas



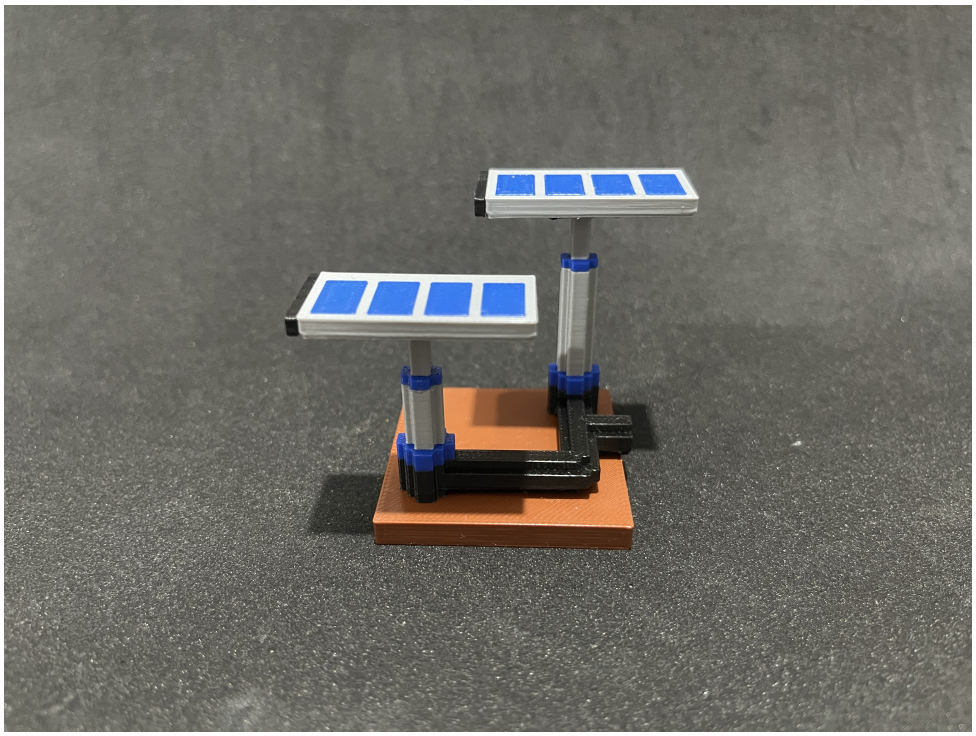
Fonte: Autores (2025).

Figura 15 – Turbina eólica em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

Figura 16 – Placa solar em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

5.2.3 Artefatos de Configuração

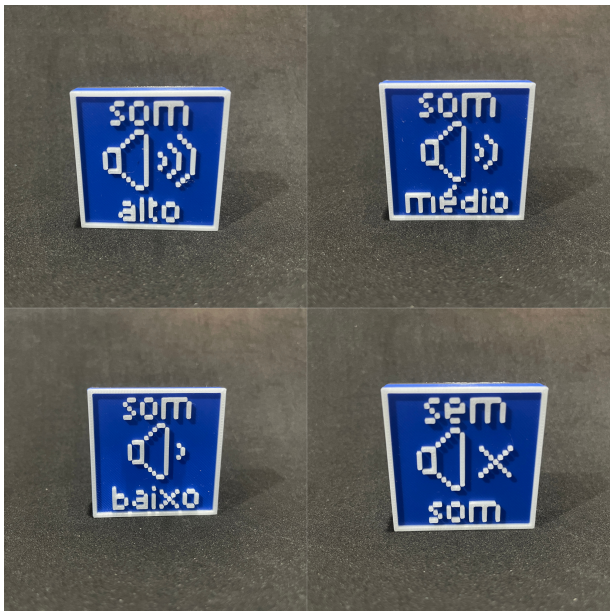
Além dos blocos lógicos e das fontes de energia, foram criados artefatos físicos que controlam as configurações do jogo, permitindo que o jogador personalize aspectos visuais e auditivos da experiência. Diferentemente dos blocos, esses artefatos foram concebidos como blocos tangíveis, cada um com uma imagem que representa a configuração correspondente.

As categorias de configuração incluem:

- **Volume de áudio** – Quatro blocos representam as opções baixo, médio, alto e sem som. Cada bloco possui um ícone correspondente (como ondas sonoras de diferentes intensidades ou um símbolo de mudo).
- **Brilho da tela** – Três blocos indicam os níveis de baixo, médio e alto, simbolizados por ícones de sol com variação de luminosidade.
- **Tamanho da fonte** – Dois blocos com letras em tamanhos médio e grande, para adaptar a legibilidade conforme a preferência do jogador.
- **Cor da interface** – Dois blocos: um representa o modo colorido (padrão) e o outro o modo preto e branco (escala de cinza).

As Figuras 17, 18, 19 e 20 abaixo demonstram como ficaram os blocos tangíveis de configuração de volume, brilho, tamanho de fonte e cor, respectivamente, em seu estado final.

Figura 17 – Configurações de volume em sua forma final



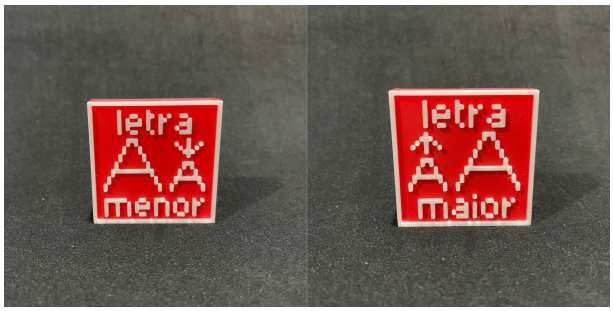
Fonte: Autores (2025).

Figura 18 – Configurações de brilho em sua forma final



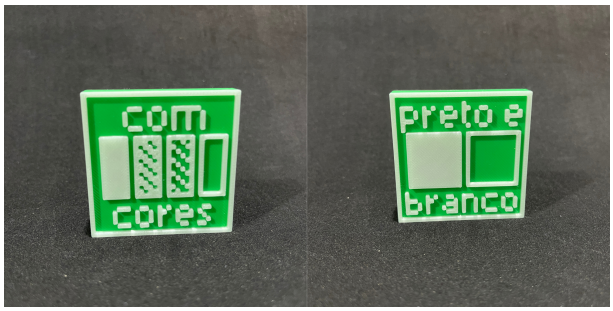
Fonte: Autores (2025).

Figura 19 – Configurações de tamanho de fonte em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

Figura 20 – Configurações de cor em sua forma final



Fonte: Autores (2025).

5.2.4 Conjunto Total de Artefatos

Ao todo, o conjunto completo do jogo é composto por 16 artefatos tangíveis, distribuídos entre portas lógicas, fontes de energia e cartões de configuração. Cada um deles cumpre uma função específica dentro da interação homem-máquina.

5.3 Visão Computacional: Reconhecimento de Gestos e Objetos

A parte de visão computacional possibilita a interação natural do usuário com o jogo por meio de gestos e objetos físicos. O sistema foi desenvolvido com o objetivo de criar uma experiência envolvente para crianças, permitindo que o jogador utilize as mãos e artefatos tangíveis para interagir com os elementos do jogo, sem depender de periféricos tradicionais, como mouse ou teclado.

5.3.1 Arquitetura e Funcionamento Geral

O sistema foi construído combinando três principais bibliotecas: **MediaPipe**, **OpenCV** e **YOLO**. Juntas, elas compõem a base de todo o processamento visual, desde a captura da imagem pela câmera, até a detecção, classificação e exibição das informações processadas em tempo real.

O funcionamento segue uma lógica de fluxo contínuo: a câmera capta o vídeo, o *OpenCV* realiza o pré-processamento das imagens e envia os quadros para o *MediaPipe* e o *YOLO*, que então processa os dados de gestos e objetos. Após a detecção, as informações são devolvidas ao sistema principal, que interpreta o gesto ou o artefato reconhecido e executa a ação correspondente dentro do jogo.

5.3.2 Ferramentas Utilizadas

5.3.2.1 MediaPipe

O *MediaPipe*, desenvolvido pelo Google, é uma das ferramentas centrais deste sistema. Ele foi responsável tanto pelo reconhecimento dos gestos das mãos quanto pela integração com o modelo de detecção dos artefatos tangíveis.

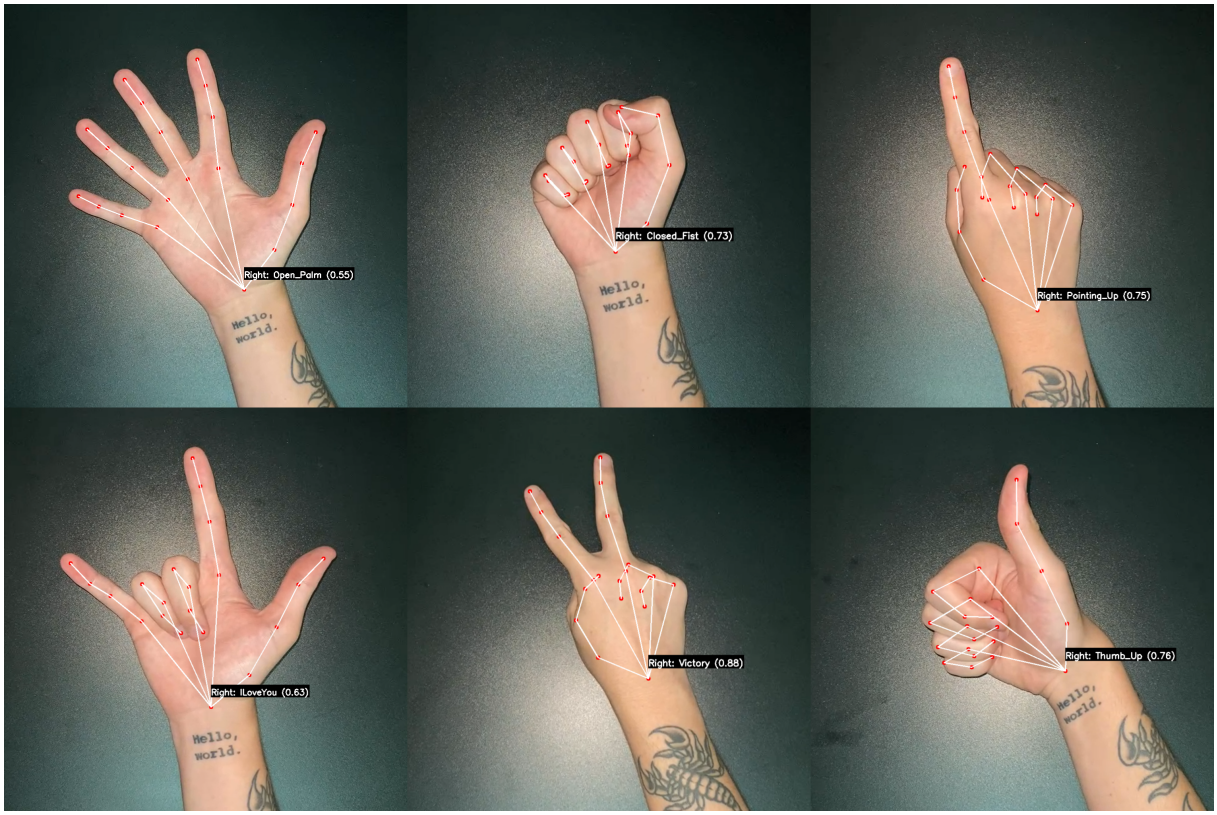
Para o **reconhecimento de gestos**, utilizou-se o modelo pré-treinado chamado `gesture_recognizer.task`, capaz de identificar gestos comuns como:

- *Closed_Fist* (punho fechado),
- *Open_Palm* (palma aberta),
- *Thumb_Up* (polegar para cima),

- *Thumb_Down* (polegar para baixo),
- *Victory* (sinal de vitória),
- *ILoveYou* (sinal de "eu te amo").
- *Pointing_Up* (apontando para cima).

O modelo identifica até 21 *landmarks* por mão (como articulações e pontas dos dedos) utilizando redes neurais convolucionais (CNNs). Esses pontos permitem não apenas classificar o gesto, mas também determinar a posição da mão no espaço, possibilitando o reconhecimento de zonas específicas de interação dentro da tela. A Figura 21 demonstra alguns gestos reconhecidos pela ferramenta e seus *landmarks* (pontos em vermelho na imagem).

Figura 21 – Exemplos de gestos identificados pelo MediaPipe



Fonte: Autores (2025).

5.3.2.2 YOLO

Além disso, para o reconhecimento de objetos, foi integrado ao sistema um modelo de detecção baseado na arquitetura YOLO, treinado especificamente para este projeto. Esse modelo é responsável por identificar, em tempo real, os artefatos tangíveis presentes

no ambiente — como as portas lógicas e os objetos de configuração — a partir das imagens capturadas pela câmera.

A partir da detecção e classificação desses objetos, o sistema realiza a associação entre cada artefato físico e suas respectivas ações no jogo, permitindo a interação direta entre o usuário e o ambiente digital por meio de interfaces tangíveis. O uso do YOLO se justifica pela sua alta eficiência computacional e baixa latência, características essenciais para aplicações interativas em tempo real.

5.3.2.3 OpenCV

A biblioteca *OpenCV* foi utilizada para o processamento e manipulação dos quadros capturados pela câmera. Ela é responsável por tarefas como:

- captura e exibição de vídeo em tempo real;
- conversão de cores e ajustes de contraste;
- desenho de elementos gráficos sobre a imagem (como caixas delimitadoras, textos e zonas de interação).

5.3.3 Treinamento do Modelo de Detecção de Objetos

Para o reconhecimento dos artefatos tangíveis, foi desenvolvido um modelo próprio de detecção de objetos. O processo começou com a criação do conjunto de dados (*dataset*), que foi elaborado com a ferramenta *Roboflow*. Foram definidos 16 rótulos (classes), correspondendo a cada um dos artefatos físicos utilizados no jogo, incluindo as portas lógicas, os inputs e os cartões de configuração.

Para cada classe, foram capturadas em média 300 imagens em diferentes ângulos e condições de iluminação. Em seguida, desenvolvemos um código em Python para gerar *data augmentation*, como rotação, espelhamento e variação de brilho, resultando em aproximadamente 1200 imagens por classe, no total foram 20808 imagens, 14567 imagens foram utilizadas para treinamento (70%), 4161 imagens foram utilizadas para validação (20%) e 2080 imagens foram utilizadas para teste (10%). O treinamento foi realizado utilizando o *YOLOv8*, que permitiu gerar um modelo otimizado para poder processar os objetos.

O pipeline de augmentations empregado no treinamento foi composto por um conjunto de transformações aplicadas às imagens, com o objetivo de aumentar a variabilidade do dataset e melhorar a capacidade de generalização do modelo. Entre essas transformações, foram incluídas rotações aleatórias de 90°, recorte redimensionado (RandomResizedCrop) e operações afins, como shear. Também foram utilizadas técnicas de conversão

para escala de cinza, alterações de matiz, saturação e valor (HSV) e ajustes de brilho, contraste e gama, buscando simular diferentes condições de iluminação e exposição.

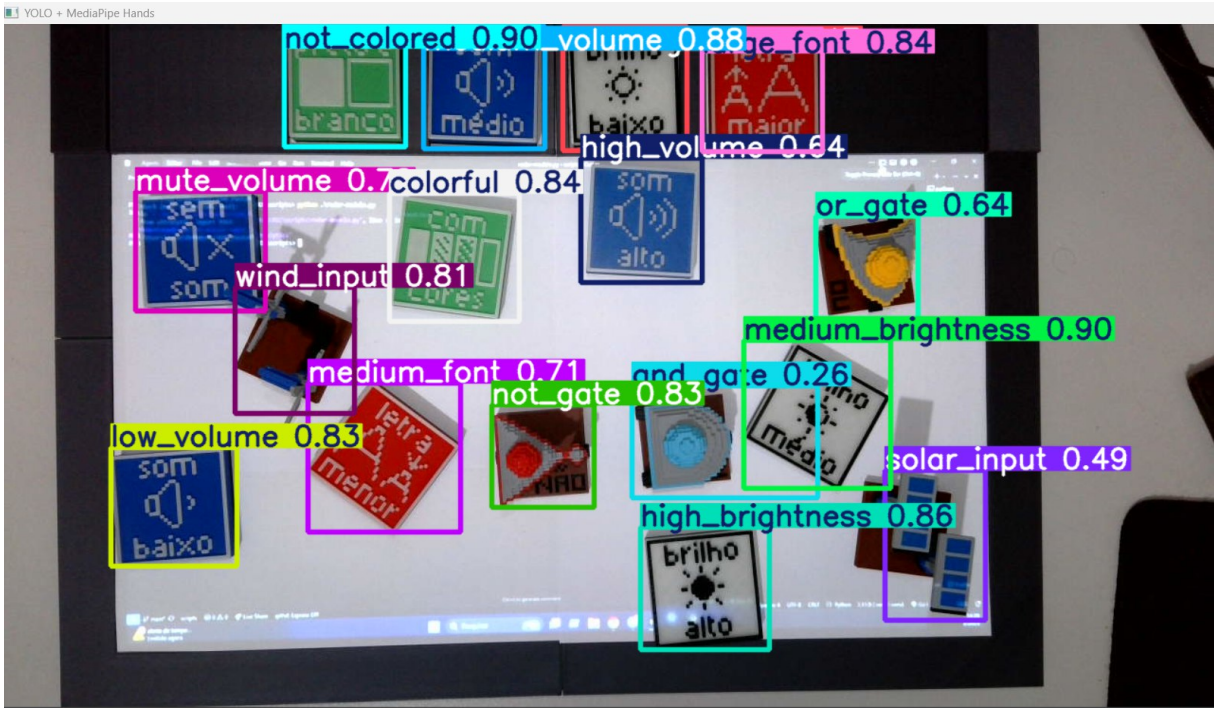
Além disso, foram aplicados desfoques gaussiano e de movimento, bem como ruídos gaussiano e ISO, para representar cenários de captura com interferências visuais. O pipeline também incorporou a técnica de CoarseDropout, semelhante ao Cutout, que remove parte da imagem de maneira controlada para reforçar a aprendizagem do modelo. Complementando as transformações, foram utilizadas distorções ópticas e em grade, escalonamento aleatório e flips horizontal e vertical, permitindo que o modelo aprendesse a reconhecer os objetos mesmo sob variações geométricas significativas.

As classes utilizadas foram:

- `and_gate`, `or_gate`, `not_gate`;
- `solar_input`, `wind_input`;
- `high_volume`, `medium_volume`, `low_volume`, `mute_volume`;
- `high_brightness`, `medium_brightness`, `low_brightness`;
- `large_font`, `medium_font`;
- `colorful`, `not_colored`.

O resultado foi um modelo capaz de identificar corretamente os artefatos em tempo real, mesmo em condições variadas de iluminação e com diferentes posições de câmera. A Figura 22 apresenta alguns dos artefatos tangíveis sendo identificados pela câmera a partir do modelo treinado e o uso das ferramentas OpenCV e YOLO, neste caso, são os artefatos *not_gate*, *or_gate* e *and_gate*.

Figura 22 – Artefatos tangíveis próprios identificados



Fonte: Autores (2025).

5.3.3.1 Treinamento do Modelo YOLOv8

O treinamento foi realizado utilizando o framework Ultralytics YOLOv8, empregando o modelo *yolov8m*, que representa um equilíbrio entre velocidade de inferência e precisão. O processo foi executado com os parâmetros mostrados abaixo:

```
yolo detect train data=dataset.yaml
     model=yolov8m.pt
     epochs=50
     imgsz=640
     batch=4
     workers=2
```

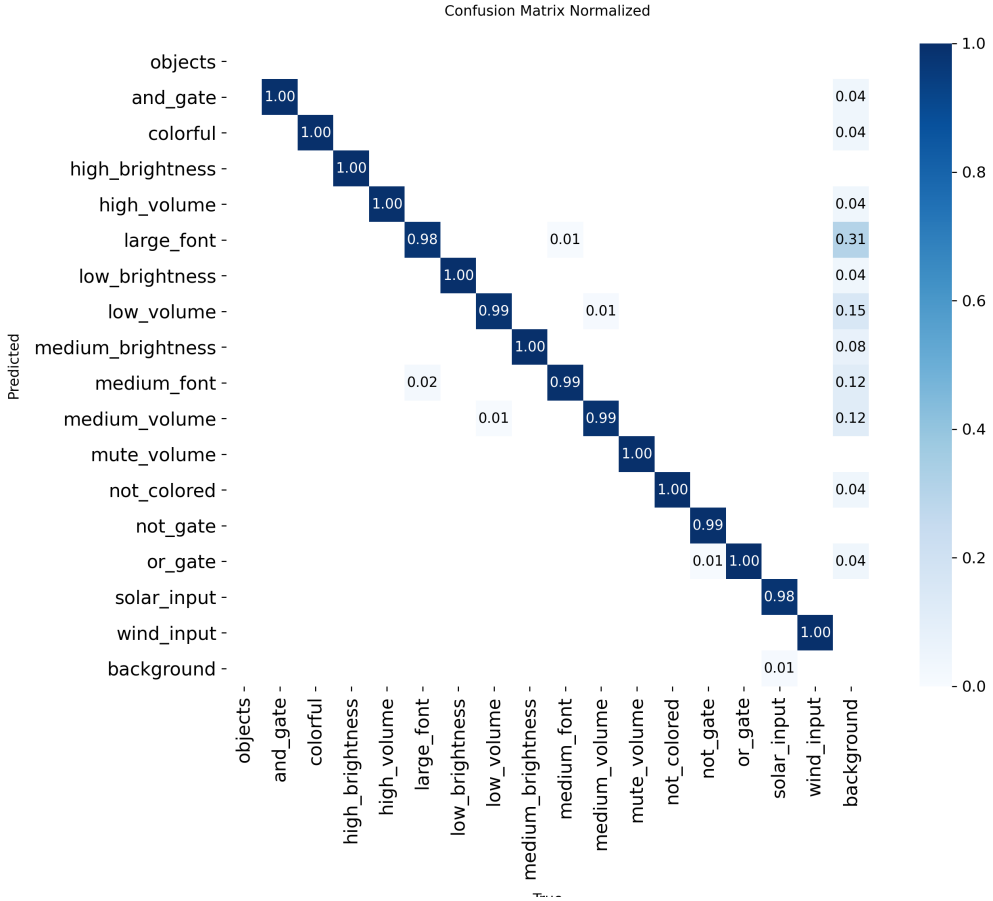
As principais configurações adotadas no processo de treinamento incluíram o uso do modelo base yolov8m.pt, com imagens dimensionadas para 640 × 640 pixels. O treinamento foi executado por 50 épocas, utilizando um batch size de 4 e 2 workers para o carregamento paralelo dos dados. O conjunto de dados foi estruturado no formato COCO JSON, acompanhado de um arquivo de configuração dataset.yaml.

Durante o treinamento, o YOLOv8 aplicou automaticamente uma série de otimizações internas que contribuem para a generalização e desempenho do modelo. Entre elas,

destacam-se as técnicas de mosaic augmentation e MixUp, utilizadas para aumentar a variabilidade das amostras de treino. Além disso, o framework realizou ajuste automático da taxa de aprendizado, otimizando a convergência do modelo, e o cálculo automático de âncoras, que garante uma melhor adaptação às proporções dos objetos presentes no dataset. Ao final do treinamento, foram gerados os arquivos de pesos `best.pt` e `last.pt`, além de métricas como precisão, revocação e *mean Average Precision* (mAP).

A Figura 23 apresenta a matriz de confusão normalizada referente ao modelo de detecção de objetos treinado com a arquitetura YOLO. Observa-se que a maior parte das classes apresenta valores próximos de 1,0 na diagonal principal, indicando uma elevada taxa de acerto na classificação dos artefatos tangíveis, como as portas lógicas (*and_gate*, *or_gate* e *not_gate*), os cartões de configuração relacionados aos níveis de brilho, volume e tamanho de fonte, bem como os elementos de entrada (*solar_input* e *wind_input*). Os baixos valores observados fora da diagonal evidenciam que os erros de confusão entre classes são reduzidos, ocorrendo majoritariamente entre categorias semanticamente semelhantes, como *medium_volume* e *low_volume*, ou *medium_font* e *large_font*. Esses resultados indicam que o modelo foi capaz de aprender características discriminativas relevantes para cada classe, apresentando bom desempenho geral e confiabilidade para uso em aplicações interativas em tempo real.

Figura 23 – Matriz de confusão normalizada



Fonte: Autores (2025).

5.3.4 Validação de Gestos e Objetos

O sistema de reconhecimento de gestos e objetos foi projetado para evitar falsos positivos e garantir que apenas interações intencionais sejam interpretadas. Para isso, foi implementado um mecanismo de **validação temporal**: um gesto ou objeto só é considerado válido se for mantido de forma contínua por pelo menos 2 segundos dentro de uma zona específica da tela.

Para que o jogo pudesse interpretar corretamente as interações do usuário, foi desenvolvido um sistema de **zonas de interação**. Cada tela do jogo possui suas próprias zonas, definidas com base na posição da câmera e do projetor. Cada zona é configurada para aceitar determinados gestos ou objetos e, quando uma detecção válida ocorre dentro dela (isto é, gesto ou objeto válido, confiança mínima de detecção e tempo suficiente), o sistema aciona a função correspondente. As zonas também estão sincronizadas com o estado do jogo, ou seja, elas mudam automaticamente conforme o jogador muda de tela.

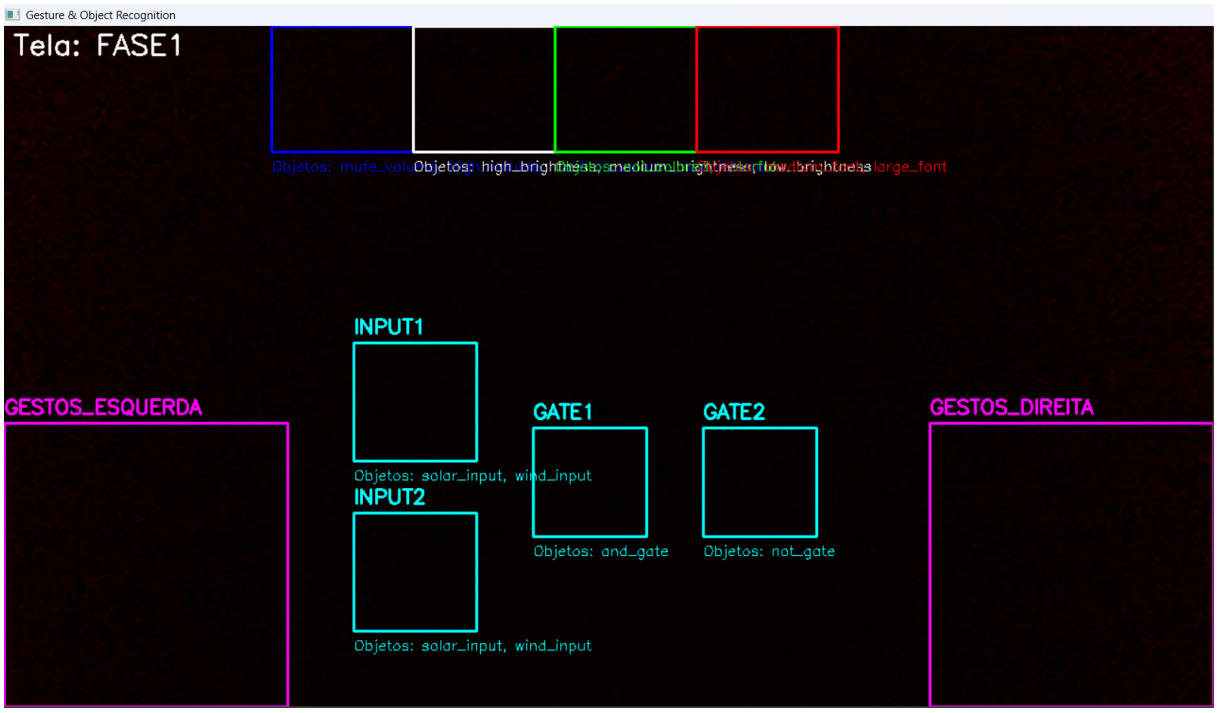
Para facilitar a compreensão do que está sendo detectado, o sistema exibe um

retorno visual em tempo real com elementos como:

- caixas delimitadoras (*bounding boxes*) dos objetos detectados;
- conexões e pontos das mãos reconhecidas;
- nomes e níveis de confiança das detecções;
- zonas coloridas de interação.

A Figura 24 mostra as zonas desenhadas na tela da câmera, servindo como limitadoras para o reconhecimento de gestos e objetos. Na parte superior, são reconhecidos os artefatos de configuração; as laterais são reservadas para as ações de gestos; no centro, estão as zonas da lógica da fase.

Figura 24 – Zonas de reconhecimento na fase



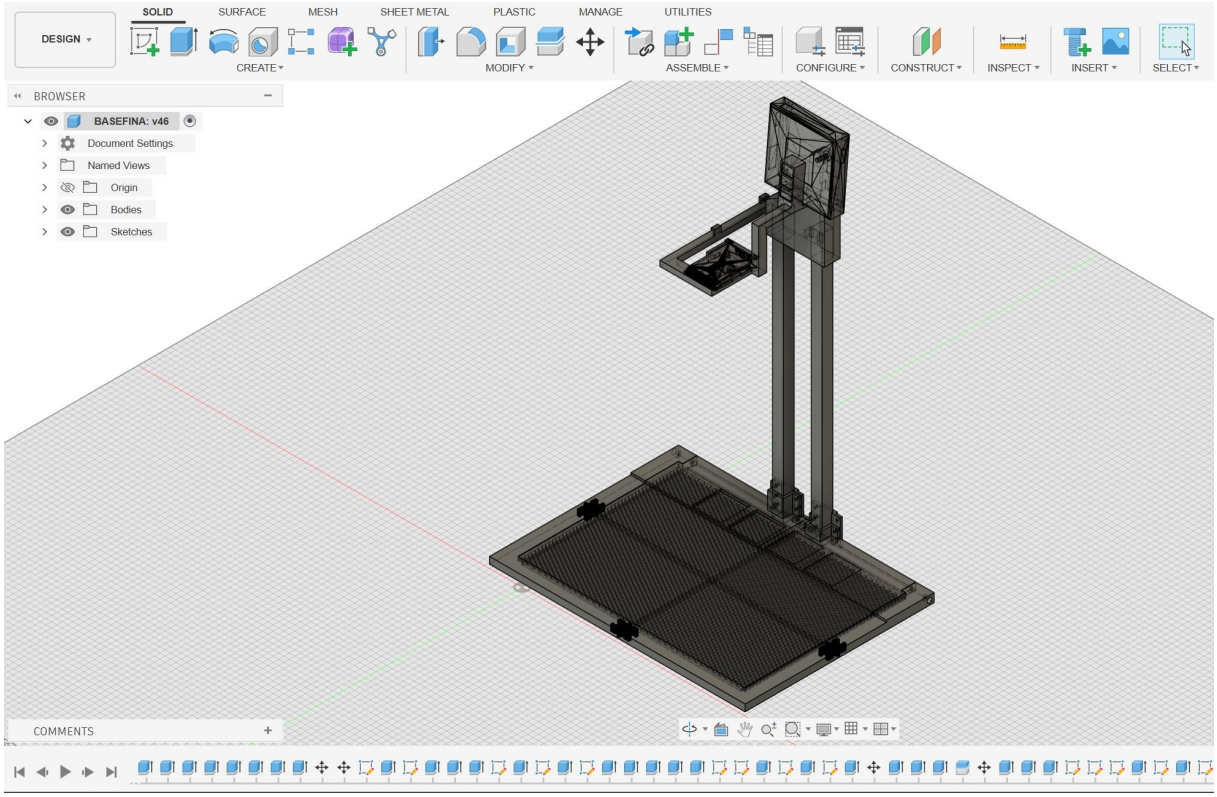
Fonte: Autores (2025).

5.4 Estrutura

A estrutura física desenvolvida para o projeto consiste em um suporte único para a câmera e o projetor, cujo objetivo principal é garantir o alinhamento entre a área de projeção da aplicação e o campo de visão do sistema de visão computacional. Esse alinhamento é fundamental para a correta detecção dos gestos manuais e dos artefatos tangíveis utilizados na interação com o sistema.

A estrutura foi modelada no software Autodesk Fusion, permitindo a criação de um modelo tridimensional com dimensões ajustadas especificamente aos equipamentos utilizados no projeto. Após a etapa de modelagem, os componentes foram fabricados por meio de impressão 3D, utilizando material plástico. A Figura 25 demonstra a estrutura desenvolvida na ferramenta de modelagem.

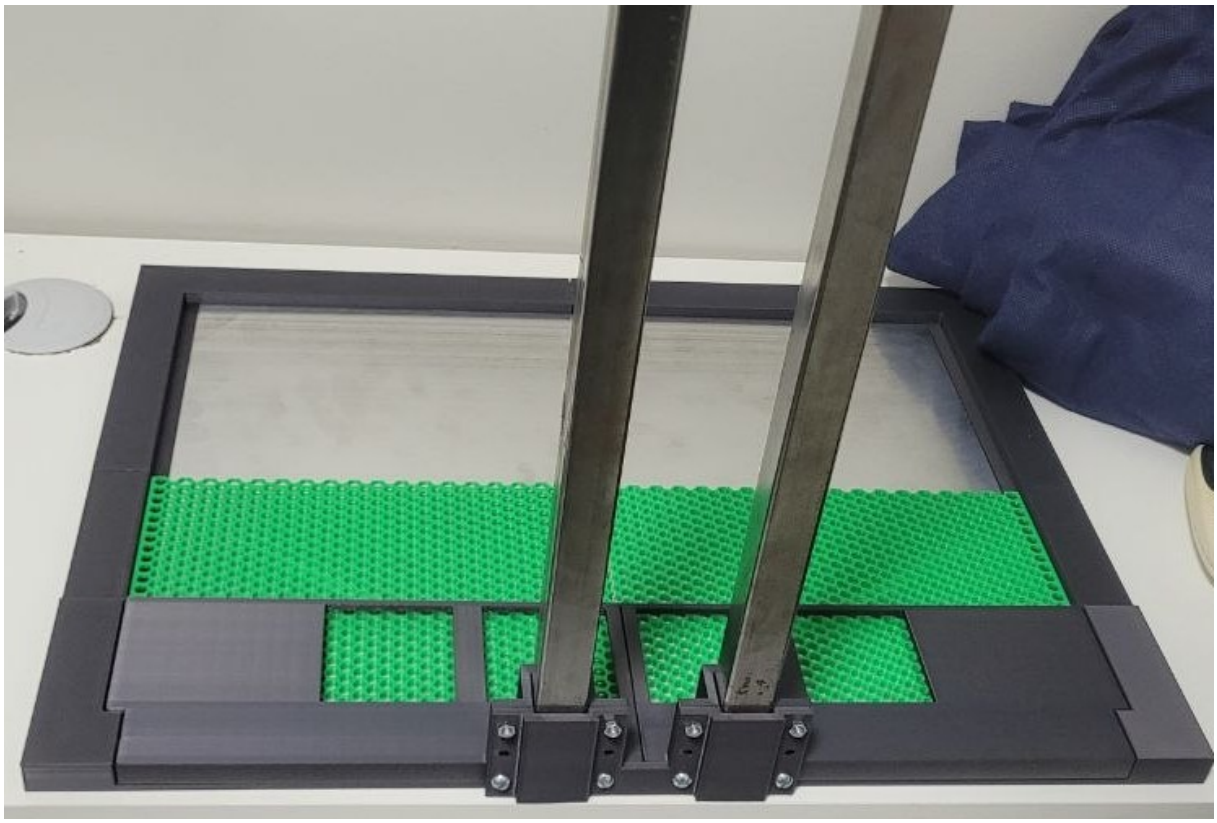
Figura 25 – Estrutura modelada no Autodesk Fusion



Fonte: Autores (2025).

A montagem da estrutura foi organizada em camadas funcionais, projetadas para atender tanto aos requisitos físicos quanto aos requisitos de interação do sistema. Na base, foi utilizada uma placa de alumínio, responsável por gerar peso adicional e garantir maior estabilidade ao conjunto. Sobre essa base, foi posicionada uma placa com espaços destinados à inserção de ímãs, utilizados para auxiliar no posicionamento correto dos artefatos de entrada e das portas lógicas. Esses artefatos também possuem ímãs em sua parte inferior, permitindo que, em conjunto, seja reforçado o entendimento do local adequado para o encaixe de cada peça durante a interação. A Figura 26 apresenta a placa de alumínio, objeto prateado posicionado logo abaixo de duas das placas de ímãs (objeto verde).

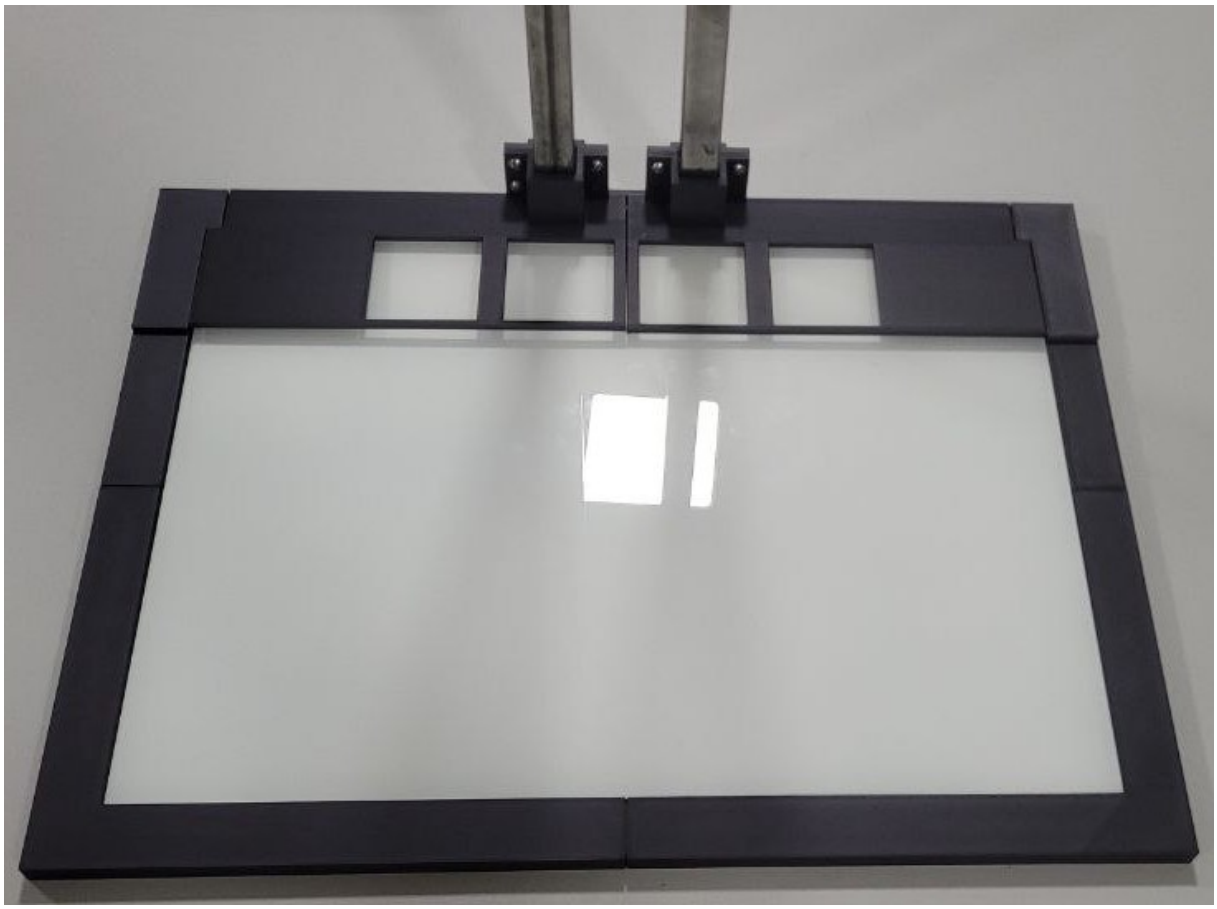
Figura 26 – Placa de alumínio e de inserção de ímãs



Fonte: Autores (2025).

Acima dessa camada, foi instalada uma placa de acrílico branco, conforme ilustrado na Figura 27, que atua como superfície de projeção do jogo. O uso do acrílico branco contribui para uma melhor qualidade visual da projeção, garantindo maior contraste e nitidez das informações exibidas. Complementarmente, a estrutura conta com suportes verticais específicos para a câmera e para o projetor, posicionados de forma a manter o alinhamento entre o feixe de projeção e o campo de visão da câmera.

Figura 27 – Acrílico branco para projeção da imagem



Fonte: Autores (2025).

A estrutura foi projetada considerando o enquadramento necessário para o correto funcionamento do sistema de visão computacional. Dessa forma, o espaço visível para a câmera foi organizado em três zonas principais de interação:

- **Área central:** corresponde à interface principal do jogo, onde é projetada a matriz lógica e onde são posicionados os artefatos de entrada, como as fontes de energia solar e eólica, bem como as portas lógicas.
- **Áreas laterais:** destinadas à realização e detecção de gestos manuais que acionam funcionalidades do sistema. Essas áreas foram posicionadas fora da região de projeção para evitar a obstrução visual da interface durante a interação do usuário.
- **Área superior:** reservada para a detecção dos artefatos de configuração do sistema, como cartões de controle de volume, brilho, cores e tamanho de fonte. A separação dessa área permite manter a interface do jogo mais limpa e focada nos elementos centrais da atividade.

Essa organização estrutural e espacial contribui para a usabilidade do sistema, favorecendo uma interação mais intuitiva, estável e alinhada às necessidades da proposta. A Figura 28 apresenta a estrutura por completo.

Figura 28 – Estrutura inteira



Fonte: Autores (2025).

6 Validação e Testes

Este capítulo apresenta o processo de verificação da aplicação após as etapas de desenvolvimento, documentando os testes realizados para validar o comportamento das principais partes da aplicação. Para isso, foram criados 115 casos de teste divididos em sete categorias para facilitar a leitura. Ao final, foram documentadas as limitações encontradas.

6.1 Categorias

Cada grupo de teste é apresentado em seu respectivo apêndice, acompanhado de uma tabela que detalha o **ID** do teste, a **ação executada** e o **retorno esperado**, permitindo compreender de forma objetiva o que foi verificado durante o processo de validação.

6.1.1 Navegação no Tutorial

Esta seção abrange os testes relacionados à navegação entre as *cutscenes* do tutorial do jogo. Os casos de teste verificam o funcionamento correto dos gestos de navegação nas zonas esquerda e direita, incluindo avançar para a próxima *cutscene*, retornar à *cutscene* anterior, e pular o tutorial completamente. Além disso, são testados cenários de gestos inválidos ou não mapeados para garantir que a aplicação não execute ações inesperadas quando o usuário realiza gestos incorretos ou fora das zonas designadas. O Apêndice C apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.2 Navegação na Fase

Esta seção aborda os testes de navegação e interação durante a execução da fase do jogo. Os casos de teste verificam as funcionalidades de retornar ao tutorial, repetir a descrição da fase e validar o circuito lógico montado pelo usuário. Também são testados cenários com gestos inválidos ou não mapeados para as zonas de gestos durante a fase, garantindo que apenas as ações corretas sejam executadas conforme o estado atual do jogo. O Apêndice D apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.3 Configurações

Esta seção contempla os testes das funcionalidades de acessibilidade e personalização do jogo, que permitem ao usuário ajustar configurações de volume, brilho, tamanho de fonte e modo de cor através da detecção de objetos físicos em zonas específicas. Os casos

de teste validam se cada objeto detectado nas zonas SOM, BRILHO, TAMANHO DE FONTE e COR produz a configuração esperada, além de verificar o comportamento do sistema quando objetos não mapeados são apresentados, quando múltiplas configurações são alteradas simultaneamente, entre outros. O Apêndice E apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.4 Lógica da Fase

Esta seção concentra-se nos testes da lógica de circuitos booleanos que constitui o principal desafio da fase do jogo. O contexto da fase simula uma noite com vento (energia solar = 0, energia eólica = 1), e os casos de teste validam o posicionamento correto de objetos nas zonas de entrada (INPUT1, INPUT2) e nas zonas de portas lógicas (GATE1, GATE2). São testadas diversas combinações de configurações de circuito, incluindo casos de sucesso onde o resultado esperado é alcançado, casos de erro com zonas vazias ou objetos incorretos, e o comportamento do sistema após validações consecutivas. O Apêndice F apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.5 Detecção e Reconhecimento

Esta seção abrange os testes relacionados à qualidade e precisão do sistema de detecção de gestos e objetos utilizando MediaPipe. Os casos de teste verificam o comportamento do sistema em diferentes níveis de confiança de detecção, a rejeição correta de objetos e gestos não suportados, e o tratamento adequado quando mãos ou objetos saem do campo de visão da câmera. Também são testados cenários de oclusão parcial e sobreposição de elementos. O Apêndice G apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.6 Limites

Esta seção contempla os testes de comportamento do sistema em condições limítrofes de uso. Os casos de teste verificam o funcionamento quando o número máximo de objetos ou mãos detectáveis é atingido ou ultrapassado, o comportamento durante mudanças rápidas de gestos ou objetos que não atingem o tempo de validação. Estes testes são importantes para garantir a robustez e estabilidade da aplicação. O Apêndice H apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.1.7 Interface e Feedback Visual

Esta seção aborda os testes relacionados aos elementos visuais e *feedback* apresentados ao usuário durante a interação com o jogo. Os casos de teste verificam a exibição correta dos marcadores de detecção nas zonas de fase, a apresentação dos resultados da

validação do circuito (valores 0 e 1), a renderização das zonas na visualização da câmera, e a aplicação correta dos efeitos de brilho e modo de cor na interface do jogo. Estes testes garantem que o usuário receba informações visuais claras e consistentes sobre o estado atual do sistema. O Apêndice I apresenta os casos de teste detalhados para esta seção.

6.2 Limitações do Sistema

A partir da execução dos testes e validações, foram identificadas algumas limitações técnicas da aplicação desenvolvida. Tais limitações estão relacionadas principalmente ao uso de visão computacional em tempo real, às condições de iluminação do ambiente, ao desempenho do hardware utilizado e às restrições do escopo.

Observou-se um tempo de inicialização da câmera superior ao esperado ao iniciar o jogo, o que pode impactar a experiência inicial do usuário. Esse comportamento está associado ao processo de inicialização dos recursos de captura e processamento de imagem.

Verificou-se também que as ações de configuração do jogo, como ajustes de volume, brilho, contraste e tamanho de fonte, podem apresentar atraso na resposta quando há muitos objetos sendo identificados simultaneamente. Isso ocorre devido ao aumento da carga de processamento causada pela detecção contínua de múltiplos artefatos.

Outra limitação identificada está relacionada à detecção de gestos, especialmente da mão esquerda, quando o brilho da projeção está configurado em níveis elevados. Nesses casos, a intensidade da luz projetada sobre a mão interfere na captura da imagem pela câmera, dificultando o reconhecimento adequado dos gestos.

Quanto às condições de iluminação, constatou-se que ambientes com baixa iluminação prejudicam a detecção dos objetos físicos, enquanto ambientes muito iluminados reduzem a nitidez da projeção da interface. Esse cenário evidencia um compromisso necessário entre a qualidade da projeção e a precisão da visão computacional.

Além disso, alguns artefatos apresentaram desempenho de detecção inferior em comparação aos demais, em especial a turbina eólica e a porta lógica AND. Essa limitação pode estar relacionada às características visuais e físicas dos objetos, bem como à quantidade e diversidade de exemplos utilizados no treinamento do modelo.

Por fim, foram observados conflitos entre as *bounding boxes* dos artefatos de entrada (turbina eólica e placa solar) quando posicionados próximos, o que pode ocasionar detecções imprecisas e impactar a correta interpretação dos inputs da fase.

Apesar dessas limitações, a aplicação mostrou-se funcional como prova de conceito e atende aos objetivos propostos neste trabalho. As limitações identificadas fornecem subsídios importantes para melhorias futuras.

7 Considerações Finais

Este trabalho teve um significado especial para os autores, pois representou um processo intenso de aprendizado, superação e amadurecimento acadêmico e pessoal. Ao longo do desenvolvimento do projeto, diversos desafios técnicos, conceituais e práticos foram enfrentados, exigindo constante adaptação, pesquisa aprofundada e tomada de decisões fundamentadas. Cada dificuldade encontrada, desde a integração de tecnologias até a construção de uma proposta verdadeiramente inclusiva, contribuiu diretamente para o desenvolvimento de uma postura mais crítica, resiliente e comprometida com a qualidade da solução proposta. Além dos conhecimentos técnicos adquiridos, o trabalho ampliou a compreensão dos autores sobre acessibilidade e o impacto social da tecnologia, reforçando o papel do engenheiro de software como agente de transformação. Assim, este TCC consolidou aprendizados que extrapolam o âmbito acadêmico, deixando contribuições duradouras para a formação profissional e humana dos envolvidos.

7.1 Resultados Esperados

A partir da revisão da literatura realizada e da proposta de desenvolvimento da aplicação, espera-se alcançar uma série de resultados positivos tanto no âmbito individual quanto coletivo. A principal expectativa é que a aplicação desenvolvida promova uma experiência de aprendizagem mais acessível, significativa e engajadora para o público-alvo, contribuindo efetivamente para o desenvolvimento cognitivo, emocional e social dos usuários.

Um dos resultados mais desejados é a melhoria do processo de ensino-aprendizagem, por meio de uma plataforma que respeita o ritmo, as capacidades e as necessidades específicas dos usuários. Ao incorporar elementos e mecânicas de jogos e recursos acessíveis, a aplicação busca despertar o interesse dos jogadores, mantendo-os motivados ao longo do percurso, o que pode levar a uma maior retenção de conteúdo e desenvolvimento de habilidades.

Além disso, a aplicação apresenta potencial de impacto social, principalmente por seu compromisso com a inclusão. Ao considerar requisitos sensoriais e de acessibilidade desde a concepção, a proposta se propõe a contemplar públicos muitas vezes negligenciados por plataformas convencionais de ensino e entretenimento digital. Espera-se, portanto, que a proposta contribua para a equidade no acesso à tecnologia educacional, favorecendo a autonomia e a autoestima dos usuários com diferentes tipos de necessidades.

No contexto educacional, a plataforma pode se tornar uma ferramenta complemen-

tar de apoio para educadores, auxiliando na diversificação das metodologias de ensino e na criação de ambientes mais interativos e empáticos. Ao mesmo tempo, pode oferecer dados e *feedbacks* relevantes sobre o desempenho e engajamento dos usuários, apoiando tomadas de decisões pedagógicas mais assertivas.

Por fim, espera-se que os aprendizados obtidos com esta pesquisa também possam inspirar novos estudos e soluções voltadas para o desenvolvimento de tecnologias inclusivas, promovendo uma cultura de design centrado no usuário, especialmente quando esse usuário possui demandas específicas. A proposta não apenas entrega um protótipo funcional, mas também reforça a importância de unir tecnologia e empatia no desenvolvimento de sistemas verdadeiramente transformadores.

7.2 Melhorias e Trabalhos Futuros

Com a consolidação do desenvolvimento da aplicação e a implementação dos principais requisitos definidos na primeira etapa do projeto, foi possível identificar avanços, bem como oportunidades de aprimoramento e expansão. A fase final do trabalho permitiu não apenas validar a viabilidade técnica da proposta, mas também compreender, de forma mais concreta, suas limitações e potenciais evolutivos.

Algumas dessas melhorias já estavam inicialmente previstas no escopo do projeto, surgindo a partir das descobertas e aprendizados obtidos ao longo do processo. Outras, embora planejadas desde o início, acabaram sendo despriorizadas ou implementadas de forma simplificada devido a limitações de tempo e recursos durante o desenvolvimento, sendo realizadas apenas o essencial para fins de prova de conceito do TCC. Assim, os trabalhos futuros e melhorias planejadas têm como objetivo refinar a experiência do usuário, ampliar as possibilidades pedagógicas e fortalecer o caráter inclusivo e adaptativo da aplicação.

Em adição, outra melhoria proposta é a implementação de dicas dinâmicas e *feedbacks* personalizados de acordo com as ações do usuário durante o jogo. Essa funcionalidade visa oferecer explicações construtivas quando ocorrerem erros, conforme o Requisito Funcional RF-5, auxiliando a criança a compreender o motivo da falha e incentivando a a tentar novamente de maneira positiva. Esse tipo de retorno adaptativo pode promover o aprendizado por meio da experimentação e reduzir frustrações desnecessárias, contribuindo para uma experiência mais acolhedora e educativa. Complementarmente, prevê-se a ampliação dos estímulos sonoros da aplicação, tanto por meio das narrações dos textos e descrições quanto pela adição de *feedbacks* sonoros variados, reforçando ações corretas, incorretas e eventos importantes do jogo.

Outra frente importante de evolução está na expansão das fases e desafios. Atualmente, o jogo conta com apenas uma fase, mas o Requisito RF-3 prevê o desenvolvimento de novos níveis com dificuldades progressivas e diferentes combinações de condições climáticas, como a presença ou ausência de sol e vento, de modo a ampliar a variedade de desafios lógicos. Essa progressão também possibilitará explorar novos contextos narrativos e visuais dentro do ambiente da fazenda, tornando o aprendizado mais envolvente. Nesse contexto, destaca-se também a finalização das *cutscenes* de introdução à história do jogo, permitindo que a narrativa apresente um começo, meio e fim bem definidos, fortalecendo o *storytelling* e o engajamento da criança com a proposta lúdica.

Ainda no aspecto pedagógico, uma melhoria relevante consiste no desenvolvimento de um tutorial prático, no qual a criança possa aprender os conceitos básicos do jogo por meio da experimentação guiada, antes de avançar para as fases propriamente ditas. Esse tipo de tutorial pode facilitar a compreensão inicial da lógica booleana, dos artefatos

tangíveis e das interações por gestos, respeitando o ritmo de aprendizado do usuário.

No âmbito da personalização, está prevista a inclusão da funcionalidade de nomear o mascote do jogo, atendendo ao Requisito RF-9. Essa melhoria tem como objetivo aumentar o senso de pertencimento e identificação da criança com a experiência, tornando o mascote, a vaquinha, não apenas um guia, mas um personagem com quem o jogador estabelece uma conexão afetiva.

Quanto aos artefatos tangíveis, propõe-se o desenvolvimento de versões com diferentes texturas, a fim de favorecer a adaptação sensorial das crianças, especialmente aquelas com hipersensibilidade tátil. Essa melhoria reforça o caráter inclusivo da proposta, permitindo uma interação mais confortável e personalizada com o ambiente físico do jogo.

No que se refere à interface, além da ampliação das opções de configuração, como contraste e cor, propõe-se a adição de uma legenda visual de gestos diretamente na interface do jogo. Essa legenda tem como objetivo informar quais gestos estão associados a cada ação possível em determinado contexto, contribuindo para a autonomia do usuário e reduzindo a necessidade de memorização ou mediação constante.

Um dos próximos passos fundamentais será a realização de avaliações diretas com os usuários, etapa que se encontra fora do escopo deste trabalho. A aplicação de testes práticos com o público-alvo é essencial para compreender, de forma mais aprofundada, a experiência de uso, as dificuldades enfrentadas, os níveis de engajamento e as oportunidades de melhoria da aplicação. A coleta de *feedback* qualitativo e quantitativo permitirá uma validação mais precisa dos requisitos estabelecidos, além de fornecer subsídios concretos para o refinamento da usabilidade, acessibilidade e eficácia pedagógica da proposta.

Nesse contexto, destaca-se o interesse manifestado pela **Fundação Catarinense de Ensino Especial (FCEE)** em integrar-se ao projeto e viabilizar sua implementação em um ambiente real de uso. A parceria com essa instituição possibilitará avaliações mais abrangentes, alinhadas às demandas práticas do contexto educacional inclusivo, contribuindo para a identificação de novos requisitos, ajustes metodológicos e avanços significativos no amadurecimento da solução. Essa etapa fortalece a abordagem centrada no usuário, promovendo um ciclo contínuo de escuta, adaptação e aprimoramento.

Essas propostas de melhoria refletem um movimento natural de amadurecimento do projeto, resultante tanto da experiência adquirida no desenvolvimento quanto das perspectivas de aplicação prática. Elas mantêm a essência inclusiva e educativa da proposta, ao mesmo tempo em que projetam um futuro de expansão tecnológica e pedagógica. Com a continuidade da pesquisa para além do TCC, espera-se alcançar uma versão ainda mais rica, sensível e adaptável da aplicação.

7.3 Conclusão

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso consistiu em propor e desenvolver uma solução educativa baseada em Realidade Aumentada projetada e Interfaces Tangíveis do Usuário (TUI) para o ensino de Pensamento Computacional a crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) ou Transtorno do Processamento Sensorial (TPS), ou ambos, buscando promover acessibilidade, autonomia e inclusão no processo de aprendizagem.

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas principais. A primeira abordou, principalmente, o levantamento teórico que fundamentou toda a pesquisa e o planejamento inicial da proposta, enquanto a segunda concentrou-se no desenvolvimento do protótipo funcional, bem como na validação técnica do sistema.

Na primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os principais temas que sustentam o projeto, apresentada no Capítulo 2, atendendo ao Objetivo Específico **OE-1**. Essa base teórica ajudou a compreender as demandas cognitivas e sensoriais do público-alvo, bem como para guiar o design da solução. Em seguida, conforme descrito no Capítulo 4, foi conduzido o processo de planejamento da proposta, contemplando o **OE-2**. Nessa fase, foram definidas a abordagem geral da proposta, o perfil do usuário e seus requisitos, além dos requisitos funcionais e não funcionais. Essa etapa consolidou o modelo conceitual e técnico que orientou o desenvolvimento do protótipo.

Já na segunda etapa, o Capítulo 5 apresenta o **OE-3**, referente à implementação do protótipo educacional, foi alcançado com planejamento detalhado da aplicação, definindo a narrativa, artefatos tangíveis, a arquitetura de código e demais fatores, até chegar no desenvolvimento da aplicação final. Por fim, o **OE-4**, que tratava da avaliação do protótipo por meio de testes de software de caixa preta, também foi alcançado, conforme detalhado no Capítulo 6. Os testes realizados permitiram validar o funcionamento do sistema em diferentes condições.

Durante o desenvolvimento, foram identificadas também oportunidades de aprimoramento e trabalhos futuros, como a implementação de feedbacks personalizados de acordo com as ações do usuário, o desenvolvimento de novas fases com níveis de dificuldade crescentes, a personalização do nome do mascote, e a criação de artefatos tangíveis com diferentes texturas para favorecer a adaptação sensorial. Além disso, prevê-se o acréscimo de opções avançadas de contraste e cor, permitindo maior personalização visual. Essas perspectivas reforçam o potencial de continuidade e evolução do projeto.

Por fim, compreende-se que o projeto desenvolvido neste trabalho se encontra no nível de maturidade tecnológica **TRL 3** (*Technology Readiness Level 3*). Esse nível caracteriza-se pela validação analítica e experimental de prova de conceito, na qual os princípios fundamentais da solução proposta foram estudados, implementados e testados em um ambiente controlado. Ao longo do desenvolvimento, foi possível demonstrar a

viabilidade técnica da aplicação, integrando Interface Tangível do Usuário, Realidade Aumentada projetada e visão computacional, ainda que sem a realização de validações extensivas em ambiente real com usuários finais. Dessa forma, o projeto estabelece uma base sólida para evoluções futuras, que poderão conduzi-lo a níveis mais avançados de maturidade tecnológica por meio de refinamentos, testes com o público-alvo e ampliação das funcionalidades.

Referências

ABRAHAM, D.; BRALEY, C. H. P.; DROBNJAK, L. *Sensory Processing 101*. [S.l.]: Sensory Processing 101, 2015. ISBN 9780692518366. Citado 3 vezes nas páginas 30, 32 e 33.

AL-AZAWEI, A.; SERENELLI, F.; LUNDQVIST, K. Universal design for learning (udl): A content analysis of peer reviewed journals from 2012 to 2015. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, IUScholarWorks, v. 16, n. 3, p. 39–56, 2016. ISSN 1527-9316. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14434/josotl.v16i3.19295>. Citado na página 47.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. *DSM-5: Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais*. Porto Alegre: Artmed Editora, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 25, 26, 27, 28 e 45.

ANDO, J. Onírica: Device with tangible interface for the development of computational thinking. In: _____. [S.l.: s.n.], 2023. p. 113–117. ISBN 978-3-031-49211-2. Citado na página 54.

AYRES, A. J.; ROBBINS, J. *Sensory Integration and the Child: Understanding Hidden Sensory Challenges*. [S.l.]: Western Psychological Services, 2005. Citado 10 vezes nas páginas 18, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 55.

AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 6, n. 4, p. 355–385, 08 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 38.

BALBINO, V. et al. Jogos de tabuleiro como ferramentas para estímulo ao pensamento computacional em estudantes com tea. In: *Anais do II Workshop de Pensamento Computacional e Inclusão*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 55–64. ISSN 0000-0000. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wpci/article/view/26148>. Citado 4 vezes nas páginas 17, 18, 25 e 40.

BARBOSA, S. D.; SILVA, B. S. da. *Interação Humano-Computador*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2010. ISBN 9788535236994. Citado na página 46.

BEN-SASSON, A.; CARTER, A. S.; BRIGGS-GOWAN, M. J. Sensory over-responsivity in elementary school: prevalence and social-emotional correlates. *Journal of Abnormal Child Psychology*, v. 37, n. 5, p. 705–716, 2009. Citado na página 37.

BOSA, C. A. Transtorno do espectro autista: uma abordagem psicológica. *Revista Psicologia USP*, v. 29, n. 1, p. 94–100, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psusp/a/HMtnXrFG7X3ZtRPBms9zfrK>. Citado na página 45.

BOYD, B. A.; BARANEK, S. L. et al. Sensory features and repetitive behaviors in children with autism and developmental delays. *Autism Research*, v. 3, n. 2, p. 78–87, 2010. Citado na página 38.

BRACKMANN, C. et al. Development of computational thinking in brazilian schools with social and economic vulnerability: How to teach computer science without machines. *International Journal of Innovation Education and Research*, v. 7, p. 79–96, 04 2019. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

BRANDWEIN, A. B. et al. Neurophysiological indices of atypical auditory processing and multisensory integration are associated with symptom severity in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 45, n. 1, p. 230–244, 2015. Citado na página 37.

BRUSILOVSKY, P. Adaptive hypermedia for education. In: *Intelligent Tutoring Systems*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2012, (Lecture Notes in Computer Science, v. 7315). p. 7–11. Embora o conceito seja mais antigo, esta é uma referência representativa e mais recente do autor sobre o tema. Citado na página 55.

BURDEA, G. C.; COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*. 2. ed. New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2017. 464 p. ISBN 978-1-119-48572-8. Citado na página 38.

CAMARGO, M. et al. Designing gamified interventions for autism spectrum disorder: A systematic review. In: _____. [S.l.: s.n.], 2019. p. 341–352. ISBN 978-3-030-34643-0. Citado 3 vezes nas páginas 55, 57 e 58.

CHAGAS, D. A.; FURTADO, E. S.; SOUZA, M. M. de. Prospecção de desafios em ihc para comunidades orais. In: *Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. BRA: Sociedade Brasileira de Computação, 2014. (IHC '14), p. 421–424. ISBN 9788576692911. Citado na página 40.

Clia Psicologia. *Integração Sensorial*. 2025. Disponível em: <https://cliapsicologia.com.br/integracao-sensorial/>. Citado na página 35.

COOPER, S.; DANN, W.; PAUSCH, R. Teaching objects-first in introductory computer science. *SIGCSE Bull.*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 35, n. 1, p. 191–195, jan. 2003. ISSN 0097-8418. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/792548.611966>. Citado na página 53.

COURCHESNE, E. et al. Mapping early brain development in autism. *Neuron*, v. 56, n. 2, p. 399–413, 2007. Citado na página 28.

D'MELLO, S.; GRAESSER, A. Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*, Elsevier, v. 22, n. 2, p. 145–157, 2012. Citado na página 55.

DOURISH, P. *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction*. The MIT Press, 2001. ISBN 9780262256056. Disponível em: <https://doi.org/10.7551/mitpress/7221.001.0001>. Citado na página 39.

ELSHAHAWY, M. et al. Towards developing computational thinking skills through gamified learning platforms for students with autism. In: _____. [S.l.: s.n.], 2022. p. 193–216. ISBN 978-3-031-04285-0. Citado 3 vezes nas páginas 54, 55 e 58.

FADILLAH, M. A. et al. Augmented and virtual reality in computational thinking: A systematic review of their individual impacts, advantages, challenges, and future directions. *Electronic Journal of e-Learning*, v. 22, p. 160–174, 05 2025. Citado na página 54.

FARR, W.; YUILL, N.; RAFFLE, H. Social benefits of a tangible user interface for children with autistic spectrum conditions. *Autism*, v. 14, p. 237–252, 05 2010. Citado na página 56.

FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, American Society for Engineering Education, v. 78, n. 7, p. 674–681, 1988. Citado na página 55.

FISHER, A. G.; MURRAY, E. A.; BUNDY, A. C. *Sensory Integration: Theory and Practice*. [S.l.]: F.A. Davis, 1991. (Contemporary Perspectives in Rehabilitation). ISBN 9780803635654. Citado 6 vezes nas páginas 29, 30, 33, 34, 35 e 36.

FURTADO, E. S. et al. Re-evaluating the first five years of the grandihc-br-challenge 3: Ubiquity, multiple devices and tangibility. In: *Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (IHC '17). ISBN 9781450363778. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3160504.3160564>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

GARRETT, J. J. *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. Berkeley: New Riders, 2011. ISBN 9780321683687. Citado na página 46.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. *Métodos de pesquisa*. [S.l.]: Plageder, 2009. Citado na página 43.

GIBSON, J. J. *The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition*. Psychology Press, 2014. ISBN 9781315740218. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4324/9781315740218>. Citado na página 39.

GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Citado na página 44.

GOODWIN, K.; COOPER, A. *Designing for the Digital Age: How to Create Human-Centered Products and Services*. Wiley, 2011. ISBN 9781118079881. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=yH6Aqr5zKJEC>. Citado na página 46.

GUARDA, G.; PINTO, S. Dimensões do pensamento computacional: conceitos, práticas e novas perspectivas. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 1463–1472. ISSN 0000-0000. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12902>. Citado na página 23.

HAPPé, F.; FRITH, U. *Autism: A very short introduction*. [S.l.]: Oxford University Press, 2020. Citado na página 28.

HASSENZAHL, M.; TRACTINSKY, N. User experience - a research agenda. *Behaviour and Information Technology*, v. 25, p. 91 – 97, 03 2006. Citado na página 46.

HURON, S. et al. *Making with Data: Physical Design and Craft in a Data-Driven World*. A K Peters/CRC Press, 2022. ISBN 9781003264903. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1201/9781003264903>. Citado na página 39.

International Organization for Standardization. *ISO 9241-210:2019 – Ergonomics of Human-System Interaction – Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems*. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/77520.html>. Citado na página 46.

ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1997. (CHI '97), p. 234–241. ISBN 0897918029. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/258549.258715>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 38 e 39.

JANSEN, Y. et al. Opportunities and challenges for data physicalization. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. (CHI '15), p. 3227–3236. ISBN 9781450331456. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702180>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.

JERALD, J. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool Publishers, 2015. 635 p. ISBN 978-1-97000-112-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2792790>. Citado na página 38.

JURGINA, L. et al. Interação tangível: Avaliação da usabilidade de uma ferramenta educacional tangível sob a perspectiva de crianças e jovens com síndrome de down. In: *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2024. p. 1181–1192. ISSN 0000-0000. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31313>. Citado na página 41.

KAMARUZAMAN, M. F.; MAJID, F. A.; MUKMIN, T. M. Talna app: An interactive numeracy mobile learning application for children with autism. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, v. 17, n. 21, p. 50–64, 2023. Citado na página 54.

KLETTEMBERG, J. S.; TORI, R.; HUANCA, C. M. Perspectivas mundiais sobre a realidade aumentada nos anos iniciais da educação básica. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 29, p. 827–845, 07 2021. Disponível em: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/rbie/article/view/3500>. Citado na página 38.

KRANOWITZ, C. S. *The Out-of-Sync Child: Recognizing and Coping with Sensory Processing Disorder*. [S.l.]: Penguin, 2005. Citado 8 vezes nas páginas 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37 e 56.

KURIAN, N. Designing child-friendly ai interfaces: Six developmentally-appropriate design insights from analysing disney animation. *arXiv preprint arXiv:2504.08670*, 2025. Acessado em 11 de junho de 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2504.08670>. Citado na página 58.

KURNAZ, E. Effectiveness of video self-modeling in teaching unplugged coding skills to children with autism spectrum disorders. *Behavioral Sciences (Basel)*, v. 15, n. 3, p. 272, Feb 2025. Citado 4 vezes nas páginas 54, 55, 57 e 58.

LaViola Jr., J. J. et al. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. 2. ed. Boston: Addison-Wesley Professional, 2017. 624 p. ISBN 978-0-13-403432-4. Citado na página 38.

LIM, Y. H. et al. Standing postural control in individuals with autism spectrum disorder: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, v. 47, n. 7, p. 2238–2253, 2017. Citado na página 38.

MARCHETTI, R.; WILLIAMS, K. d. S. *Neuropsicologia do desenvolvimento: avaliação e reabilitação infantil*. [S.l.]: Manole, 2022. Citado na página 28.

MEC. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação, 2015. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/relatorios-analiticos/BNCC-APRESENTACAO.pdf>. Citado na página 16.

MEC. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação, 2016. Proposta Preliminar: Segunda Versão Revista. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/relatorios-analiticos/bncc-2versao.revista.pdf>. Citado na página 16.

MEC. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Educação é a Base. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Citado 4 vezes nas páginas 16, 17, 23 e 24.

MEC. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação, 2022. Computação: Complemento à BNCC. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images//historico/anexo_parecer_cneceb_n_2_2022_bncc_computacao.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual display. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D, n. 12, p. 1321–1329, 1994. Disponível em: <https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf>. Citado na página 38.

MILLER, L. J. et al. Concept evolution in sensory integration: A proposed nosology for diagnosis. *American Journal of Occupational Therapy*, v. 61, n. 2, p. 135–140, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 18, 29 e 45.

MINAYO, M. C. de S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. [S.l.]: Editora Vozes Limitada, 2011. Citado na página 43.

Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania. *Acessibilidade*. 2022. <https://www.gov.br/mdh/pt-br/acesso-a-informacao/governanca/acessibilidade>. Acesso em: 12 out. 2025. Citado na página 20.

MODABBERNIA, A.; VELTHORST, E.; REICHENBERG, A. Environmental risk factors for autism: An evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses. *Molecular Autism*, v. 8, n. 1, p. 13, 2017. Citado na página 27.

ONU. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: Nações Unidas Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

Organização Mundial da Saúde. *Autism spectrum disorders*. 2023. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>. Acesso em: 26 maio 2025. Citado na página 46.

OSWALD, C. et al. Fostering computational thinking and social-emotional skills in children with adhd and/or asd: a scoping review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, Springer Science and Business Media LLC, v. 11, n. 4, p. 843–862, abr. 2023. ISSN 2195-7185. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40489-023-00369-3>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 24 e 40.

PERGANTIS, P. et al. Assistive and emerging technologies to detect and reduce neurophysiological stress and anxiety in children and adolescents with autism and sensory processing disorders: A systematic review. *Technologies*, v. 13, n. 4, 2025. ISSN 2227-7080. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7080/13/4/144>. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 58.

PHYSIOPEDIA. *Sensory Integration — Physiopedia,*. 2024. [Online; accessed 15-June-2025]. Disponível em: <https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Sensory_Integration&oldid=355318>. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 58.

PICARD, R. W. *Affective computing*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1997. Citado na página 55.

Priberam Informática, S.A. *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa*. 2024. <https://dicionario.priberam.org>. Acesso em: 17 de julho de 2024. Citado na página 27.

REIS, A. S. H. H.; SILVA, C. S. G. R. O processamento sensorial e a sua relação com o desempenho escolar. *Revista Portuguesa de Educação*, v. 35, n. 1, p. 150–166, Jun. 2022. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rpe/article/view/20764>. Citado na página 40.

RESNICK, M. et al. Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 52, n. 11, p. 60–67, 11 2009. ISSN 0001-0782. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1592761.1592779>. Citado na página 39.

RESNICK, M. et al. Scratch: programming for all. *Commun. ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 52, n. 11, p. 60–67, nov. 2009. ISSN 0001-0782. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1592761.1592779>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 47.

ROBERTS, V.; TREVIRANUS, J.; WATKINS, C. Inclusive design for learning: Creating flexible and adaptable content with learners. 09 2020. Citado na página 47.

ROBERTSON, C.; BARON-COHEN, S. Sensory perception in autism. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 18, p. 671–684, 2017. Citado na página 37.

ROQUE, R. V. *OpenBlocks: an extendable framework for graphical block programming systems*. Dissertação (Master's Thesis) — Massachusetts Institute of Technology. Department of Electrical Engineering and Computer Science, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1721.1/41550>. Citado na página 39.

ROSSI, H. S. *Imaginator: um sistema de realidade virtual para o auxílio no tratamento de transtornos de processamento sensorial*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/JCES-AVKNUY>. Citado 6 vezes nas páginas 18, 29, 32, 34, 35 e 40.

SANDIN, S. et al. The familial risk of autism. *JAMA*, v. 311, n. 17, p. 1770–1777, 2014. Citado na página 28.

SHARP, H.; ROGERS, Y.; PREECE, J. *Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007. ISBN 0470018666. Citado na página 46.

SILVA, A.; BISSACO, M. Educational platform for support in the experience, communication and behavior of children with autism spectrum disorder. *Research on Biomedical Engineering*, v. 38, p. 1–31, 03 2022. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 40.

SIQUEIRA, A. G. D.; FEIJóO-GARCíA, P. G.; STANLEY, S. P. Blockxr: A novel tangible block-based programming platform. In: *2021 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–4. Citado 3 vezes nas páginas 18, 39 e 41.

SIQUEIRA, A. G. de et al. fableblocks: Toward mitigating programming anxiety with storytelling-based tangible block programming environments. In: *2022 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–4. Citado na página 41.

SIQUEIRA, A. Gomes de et al. Ppcards: Toward enhancing electronic prototyping with editions of a card-based platform. In: *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. (TEI '21). ISBN 9781450382137. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3430524.3440643>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 41.

SMITH, A. et al. Toward a block-based programming approach to interactive storytelling for upper elementary students. In: BOSSER, A.-G.; MILLARD, D. E.; HARGOOD, C. (Ed.). *Interactive Storytelling*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 111–119. ISBN 978-3-030-62516-0. Citado na página 53.

STEVENSON, R. A. et al. The impact of multisensory integration deficits on speech perception in children with autism spectrum disorders. *Frontiers in Psychology*, v. 5, p. 379, 2014. Citado na página 37.

TAVASSOLI, T. et al. Sensory reactivity in autism spectrum disorders: Assessment and therapeutic considerations. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, v. 8, p. 51, 2014. Citado na página 46.

TETTEROO, D.; SOUTE, I.; MARKOPOULOS, P. Five key challenges in end-user development for tangible and embodied interaction. In: *Proceedings of the 15th ACM on International Conference on Multimodal Interaction*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2013. (ICMI '13), p. 247–254. ISBN 9781450321297. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2522848.2522887>. Citado na página 39.

TORI, R. et al. Educação. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. da S. (Ed.). *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. 3. ed. Editora SBC, 2020. cap. 19, p. 400–421. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbc.6654.2>. Citado na página 38.

TRAJKOVSKA, K. et al. part blocks: Programming with physical tangible blocks and ar. In: PECECNIK, K. S.; JAKUS, G. (Ed.). *Proceedings of the 7th Human-Computer Interaction Slovenia Conference 2022, Ljubljana, Slovenia, November 29, 2022*. CEUR-WS.org, 2022. (CEUR Workshop Proceedings, v. 3300). Disponível em: <http://ceur-ws.org/Vol-3300/short_5931.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.

ULLMER, B. et al. *Weaving Fire into Form: Aspirations for Tangible and Embodied Interaction*. 1. ed. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. v. 44. ISBN 9781450397698. Citado na página 39.

VALENTE, J. A. Integração do pensamento computacional no currículo da educação básica: Diferentes estratégias usadas e questões de formação de professores e avaliação do aluno. *Revista e-Curriculum*, v. 14, n. 3, p. 864–897, 2016. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/29051>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

VIDARTE, J. D. T. et al. A tangible interface for learning recursion and functional programming. In: *2010 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 32–35. Citado na página 40.

VYGOTSKY, L. S. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1978. Editado por M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman. Citado na página 55.

WANG, D.; ZHANG, C.; WANG, H. T-maze: a tangible programming tool for children. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Interaction Design and Children*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2011. (IDC '11), p. 127–135. ISBN 9781450307512. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1999030.1999045>. Citado na página 39.

WASHIZAKI, H. (Ed.). *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK Guide), Version 4.0*. IEEE Computer Society, 2024. Disponível em: <https://www.swebok.org>. Citado na página 20.

WING, J. M. Computational thinking. *Communications of the ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 49, n. 3, p. 33–35, mar. 2006. ISSN 0001-0782. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 22 e 23.

ZWAIGENBAUM, L. et al. Early identification and interventions for autism spectrum disorder: Executive summary. *Pediatrics*, v. 136, n. Supplement 1, p. S1–S9, 2015. Citado na página 28.

Apêndices

APÊNDICE A – Detalhamento do Cronograma do TCC1

A Tabela 8 apresenta o cronograma de escrita deste documento na fase 1 do TCC.

Tabela 8 – Cronograma de Escrita (TCC1)

Tópico	**Subtópico**	**Início**	**Fim**
Referencial Teórico	Pensamento Computacional	04/05/25	13/05/25
Referencial Teórico	TEA e TPS	04/05/25	13/05/25
Referencial Teórico	Interfaces Tangíveis e Realidade Aumentada	04/05/25	13/5/25
Referencial Teórico	Trabalhos Relacionados	04/05/25	13/05/25
Metodologia	Caracterização da Pesquisa	04/05/25	13/05/25
Metodologia	Público-alvo	04/05/25	13/05/25
Metodologia	Design Centrado no Usuário	04/05/25	13/05/25
Metodologia	Planejamento e Ferramentas Utilizadas	04/05/25	13/05/25
Planejamento da Proposta	Explicação da Proposta	13/05/25	01/06/25
Planejamento da Proposta	Levantamento dos Requisitos do Usuário	13/05/25	01/06/25
Planejamento da Proposta	Requisitos Funcionais e Não Funcionais	13/05/25	01/06/25
Resultados Esperados	Impacto Social e Educacional	01/06/25	08/06/25
Resultados Esperados	Benefícios da Aplicação	01/06/25	08/06/25
Introdução	Contexto	08/06/25	15/06/25
Introdução	Problema de Pesquisa	08/06/25	15/06/25
Introdução	Justificativa	08/06/25	15/06/25
Introdução	Objetivos (Geral e Específicos)	15/06/25	22/06/25
Introdução	Estrutura do Trabalho	15/06/25	22/06/25
Considerações Parciais	Conclusão	22/06/25	29/06/25
Considerações Parciais	Trabalhos Futuros	22/06/25	29/06/25
-	Agradecimentos	22/06/25	29/06/25
-	Resumo e Abstract	22/06/25	29/06/25

Fonte: Autores (2025).

APÊNDICE B – Detalhamento do Cronograma do TCC2

A Tabela 9 apresenta em detalhe o cronograma de desenvolvimento da aplicação.

Tabela 9 – Cronograma de Desenvolvimento (TCC2)

Atividade	**Início**	**Fim**
Estudo sobre Unity e preparação do ambiente	05/09/25	12/09/25
Modelagem e impressão da estrutura (câmera e projetor)	05/09/25	10/10/25
Criação da interface (assets)	05/09/25	10/12/25
Modelagem e impressão dos artefatos tangíveis	05/09/25	01/12/25
Mudança para PyGame e criação das telas de teste	12/09/25	19/09/25
Visão Computacional: Identificação e lógica de ações a partir de gestos	19/09/25	26/09/25
Visão Computacional: Identificação e lógica de ações a partir de objetos	03/10/25	10/10/25
Criação da lógica da fase 1	10/10/25	17/10/25
Implementação das ações de configuração (brilho, volume, fonte e cor)	10/10/25	17/10/25
Criação das descrições de Tutorial e Fase	17/10/25	24/10/25
Criação da interface final: Adição dos assets e som ambiente	24/10/25	10/12/25
Feedback de validação	31/10/25	10/12/25
Modelo de ML e identificação dos artefatos próprios	07/11/25	10/12/25
Validação, documentação de testes e correções	14/11/25	10/12/25

Fonte: Autores (2025).

APÊNDICE C – Testes de Navegação no Tutorial

A Tabela 10 abaixo apresentar os casos de teste de navegação pelo tutorial.

Tabela 10 – Casos de teste de navegação pelo tutorial

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
1.1	Fazer o gesto "Victory" na zona da direita quando estiver em qualquer *cutscene*, com exceção da última.	Deve passar para a próxima *cutscene*.
1.2	Fazer o gesto "Victory" na zona da direita quando estiver na última *cutscene*.	Deve ir para a fase.
1.3	Fazer o gesto "Victory" na zona da esquerda quando estiver na primeira *cutscene*.	Nada deve acontecer (já está na primeira).
1.4	Fazer o gesto "Victory" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene*, com exceção da primeira.	Deve voltar para a *cutscene* anterior.
1.5	Fazer o gesto "Closed_Fist" na zona da direita quando estiver em qualquer uma das *cutscenes*.	Deve pular para a fase (pular o tutorial).
1.6	Fazer o gesto "ILoveYou" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene*.	O jogo deve fechar/encerrar.
1.7	Fazer o gesto "Open_Palm" na zona da direita quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.8	Fazer o gesto "Pointing_Up" na zona da direita quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.9	Fazer o gesto "Thumb_Up" na zona da direita quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).

Continua na próxima página

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
1.10	Fazer o gesto "Thumb_Down" na zona da direita quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.11	Fazer o gesto "Open_Palm" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.12	Fazer o gesto "Pointing_Up" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.13	Fazer o gesto "Thumb_Up" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.14	Fazer o gesto "Thumb_Down" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.15	Fazer o gesto "Closed_Fist" na zona da esquerda quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona/estado).
1.16	Fazer o gesto "Victory" fora de qualquer zona definida quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto fora de zona).
1.17	Fazer o gesto "Closed_Fist" fora de qualquer zona definida quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto fora de zona).
1.18	Fazer o gesto "ILoveYou" fora de qualquer zona definida quando estiver em qualquer *cutscene* do tutorial.	Nada deve acontecer (gesto fora de zona).

APÊNDICE D – Testes de Navegação na Fase

A Tabela 11 abaixo apresentar os casos de teste de navegação na fase.

Tabela 11 – Casos de teste de navegação na fase

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
2.1	Fazer o gesto “Victory” na zona esquerda quando estiver na fase.	Deve voltar para a primeira *cutscene* do tutorial.
2.2	Fazer o gesto “ILoveYou” na zona da esquerda quando estiver na fase.	O jogo deve fechar/encerrar.
2.3	Fazer o gesto “Pointing_Up” na zona direita quando estiver na fase.	Deve repetir a descrição da fase.
2.4	Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita quando estiver na fase, com objetos configurados.	Deve executar a validação da lógica booleana do circuito e mostrar os resultados (1 ou 0) em cada zona.
2.5	Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita quando estiver na fase, sem objetos configurados.	Deve mostrar uma mensagem de erro.
2.6	Fazer o gesto “Victory” na zona direita quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona na fase).
2.7	Fazer o gesto “Closed_Fist” na zona direita quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona na fase).
2.8	Fazer o gesto “Thumb_Up” na zona direita quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não suportado).
2.9	Fazer o gesto “Thumb_Down” na zona direita quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não suportado).

Continua na próxima página

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
2.10	Fazer o gesto “Open_Palm” na zona esquerda quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona na fase).
2.11	Fazer o gesto “Pointing_Up” na zona esquerda quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona na fase).
2.12	Fazer o gesto “Closed_Fist” na zona esquerda quando estiver na fase.	Nada deve acontecer (gesto não mapeado para esta zona na fase).

APÊNDICE E – Testes de Configuração

A Tabela 12 abaixo apresentar os casos de teste de configuração.

Tabela 12 – Casos de teste de configuração

ID	Ação	Retorno Esperado
3.1	Mostrar o objeto “high_volume” na zona de SOM em qualquer tela.	O volume deve mudar para 70%.
3.2	Mostrar o objeto “medium_volume” na zona de SOM em qualquer tela.	O volume deve mudar para 50%.
3.3	Mostrar o objeto “low_volume” na zona de SOM em qualquer tela.	O volume deve mudar para 20%.
3.4	Mostrar o objeto “mute_volume” na zona de SOM em qualquer tela.	O volume deve mudar para 0% (mudo).
3.5	Alternar entre diferentes objetos de volume na zona SOM rapidamente.	O volume deve responder a cada mudança após o tempo de validação (2 segundos).
3.6	Mostrar um objeto não relacionado a volume (ex.: “low_brightness”) na zona SOM.	Nada deve acontecer (objeto não mapeado para esta ação).
3.7	Mostrar o objeto “high_brightness” na zona de BRILHO em qualquer tela.	O brilho deve mudar para 100% (sem escurecimento, opacidade 0).
3.8	Mostrar o objeto “medium_brightness” na zona de BRILHO em qualquer tela.	O brilho deve mudar para 60% (opacidade 102).
3.9	Mostrar o objeto “low_brightness” na zona de BRILHO em qualquer tela.	O brilho deve mudar para 30% (opacidade 179).
3.10	Alternar entre diferentes objetos de brilho na zona de BRILHO rapidamente.	O brilho deve responder a cada mudança após o tempo de validação (2 segundos).

Continua na próxima página

ID	Ação	Retorno Esperado
3.11	Mostrar um objeto não relacionado a brilho (ex.: “colorful”) na zona de BRILHO.	Nada deve acontecer (objeto não mapeado para esta ação).
3.12	Mostrar o objeto “large_font” na zona de TAMANHO DE FONTE em qualquer tela.	A fonte deve mudar para 9px.
3.13	Mostrar o objeto “medium_font” na zona de TAMANHO DE FONTE em qualquer tela.	A fonte deve mudar para 6px.
3.14	Alternar entre diferentes objetos de fonte na zona TAMANHO DE FONTE rapidamente.	A fonte deve responder a cada mudança após o tempo de validação (2 segundos).
3.15	Mostrar um objeto não relacionado a tamanho de fonte (ex.: “wind_input”) na zona de TAMANHO DE FONTE.	Nada deve acontecer (objeto não mapeado para esta ação).
3.16	Mostrar o objeto “colorful” na zona de COR em qualquer tela.	O modo de cor deve mudar para colorido (padrão).
3.17	Mostrar o objeto “not_colored” na zona de COR em qualquer tela.	O modo de cor deve mudar para preto e branco (*grayscale*).
3.18	Alternar entre “colorful” e “not_colored” na zona COR rapidamente.	O modo de cor deve responder a cada mudança após o tempo de validação (2 segundos).
3.19	Mostrar um objeto não relacionado a cor (ex.: “medium_font”) na zona COR.	Nada deve acontecer (objeto não mapeado para esta ação).
3.20	Mostrar o objeto “low_volume” na zona SOM e “high_brightness” na zona BRILHO simultaneamente.	Ambas as configurações devem ser aplicadas (volume 30%, brilho 100%).
3.21	Mostrar objetos nas quatro zonas de configuração (SOM, BRILHO, COR, TAMANHO DE FONTE) simultaneamente.	Todas as quatro configurações devem ser aplicadas.

Continua na próxima página

ID	Ação	Retorno Esperado
3.22	Remover um objeto de uma zona de configuração (ex.: tirar “medium_volume” da zona SOM).	O volume deve permanecer no último valor configurado (não volta ao padrão automaticamente).
3.23	Configurar o volume como “mute_volume” (mudo) em uma *cutscene* e avançar para outra *cutscene*.	O volume deve permanecer mudo na nova *cutscene*.
3.24	Configurar o brilho como “low_brightness” (30%) em uma *cutscene* e pular para a fase.	O brilho deve permanecer em 30% na fase.
3.25	Configurar a cor como “not_colored” (*grayscale*) em uma *cutscene* e voltar para uma *cutscene* anterior.	A cor deve permanecer em *grayscale* na *cutscene* anterior.
3.26	Configurar volume, brilho, tamanho de fonte e cor em qualquer tela, sair do jogo e retornar.	As configurações devem voltar ao padrão.

APÊNDICE F – Testes de Lógica da Fase

A Tabela 13 abaixo apresentar os casos de teste da lógica da fase.

Tabela 13 – Casos de teste da lógica da fase

ID	Ação	Retorno Esperado
4.1	Mostrar o objeto “wind_input” (energia eólica) na zona INPUT1 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona INPUT1 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.
4.2	Mostrar o objeto “solar_input” na zona INPUT1 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona INPUT1 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.
4.3	Mostrar o objeto “wind_input” na zona INPUT2 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona INPUT2 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.
4.4	Mostrar o objeto “solar_input” na zona INPUT2 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona INPUT2 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.
4.5	Mostrar o objeto “and_gate” na zona GATE1 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona GATE1 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.
4.6	Mostrar o objeto “not_gate” na zona GATE2 por 2 segundos ou mais.	O objeto deve ser registrado na zona GATE2 e um marcador preto deve aparecer na posição definida.

Continua na próxima página

ID	Ação	Retorno Esperado
4.7	Mostrar um objeto não permitido (ex.: “high_volume”) na zona INPUT1.	Nada deve acontecer; o objeto não deve ser registrado (objeto não permitido nesta zona).
4.8	Mostrar um objeto não permitido (ex.: “colorful”) na zona GATE1.	Nada deve acontecer; o objeto não deve ser registrado (objeto não permitido nesta zona).
4.9	Remover um objeto de uma zona (ex.: tirar “wind_input” da INPUT1).	O marcador preto deve desaparecer e a zona deve ficar vazia novamente.
4.10	Trocar um objeto em uma zona por outro (ex.: “wind_input” por “solar_input” na INPUT1).	O novo objeto deve ser registrado e o marcador deve continuar aparecendo.
4.11	Configurar: INPUT1=wind_input (eólico=1), INPUT2=solar_input (solar=0), GATE1=and_gate (AND), GATE2=not_gate (NOT). Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita.	Deve validar: INPUT1=1, INPUT2=0, GATE1=0 (1 AND 0), GATE2=1 (NOT 0). Resultado final=1 (correto para a fase). Deve mostrar os valores e indicar sucesso.
4.12	Configurar: INPUT1=solar_input (solar=0), INPUT2=wind_input (eólico=1), GATE1=and_gate (AND), GATE2=not_gate (NOT). Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita.	Deve validar: INPUT1=0, INPUT2=1, GATE1=0 (0 AND 1), GATE2=1 (NOT 0). Resultado final=1 (correto para a fase). Deve mostrar os valores e indicar sucesso.
4.13	Configurar: INPUT1=solar_input (solar=0), INPUT2=wind_input (eólico=1), GATE1=or_gate (OR), GATE2=not_gate (NOT). Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita.	Deve validar: INPUT1=0, INPUT2=1, GATE1=1 (0 OR 1), GATE2=0 (NOT 1). Resultado final=0. Deve mostrar esses valores.
4.14	Deixar a zona INPUT1 vazia e configurar as outras zonas. Fazer o gesto “Open_Palm” na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que a zona INPUT1 está vazia.

Continua na próxima página

ID	Ação	Retorno Esperado
4.15	Deixar a zona INPUT2 vazia e configurar as outras zonas. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que a zona INPUT2 está vazia.
4.16	Deixar a zona GATE1 vazia e configurar as outras zonas. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que a zona GATE1 está vazia.
4.17	Deixar a zona GATE2 vazia e configurar as outras zonas. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que a zona GATE2 está vazia.
4.18	Deixar todas as zonas vazias. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que todas as zonas estão vazias ou que não é possível validar.
4.19	Configurar apenas INPUT1 e INPUT2, deixando GATE1 e GATE2 vazias. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro indicando que as zonas de portas lógicas estão vazias.
4.20	Colocar um objeto não mapeado para o jogo em uma zona e tentar validar.	Deve mostrar erro na validação.
4.21	Configurar: INPUT1=and_gate — objeto de porta na zona de input. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro na validação.
4.22	Configurar: GATE1=wind_input — objeto de input na zona de porta. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro na validação.
4.23	Configurar: GATE2=solar_input — objeto de input na zona de porta. Fazer o gesto "Open_Palm" na zona direita.	Deve mostrar erro na validação.
4.24	Após uma validação bem-sucedida, remover um objeto de uma zona.	Os resultados devem continuar sendo exibidos até uma nova validação ou mudança de estado.

Continua na próxima página

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
4.25	Após uma validação bem-sucedida, trocar um objeto em uma zona e fazer nova validação.	Os resultados devem ser recalculados com base na nova configuração.
4.26	Após uma validação com erro, corrigir o problema (ex.: preencher zona vazia) e fazer nova validação.	A validação deve ocorrer com sucesso se todas as condições forem atendidas.
4.27	Após uma validação, fazer o gesto "Victory" na zona esquerda (voltar ao tutorial).	Deve voltar para a primeira *cutscene* e os resultados da validação não devem mais ser exibidos.
4.28	Após uma validação, fazer o gesto "Pointing_Up" na zona direita.	A descrição da fase deve ser repetida e os resultados devem continuar sendo exibidos.

APÊNDICE G – Testes de Detecção e Reconhecimento

A Tabela 14 abaixo apresentar os casos de teste de detecção e reconhecimento.

Tabela 14 – Casos de teste de detecção e reconhecimento

ID	Ação	Retorno Esperado
5.1	Mostrar um objeto com confiança muito baixa (abaixo do mínimo configurado) em qualquer zona.	O objeto não deve ser detectado/registrado (confiança insuficiente).
5.2	Mostrar um objeto com alta confiança em qualquer zona.	O objeto deve ser detectado/registrado normalmente.
5.3	Mostrar um objeto não listado (ex.: “livro”, “garrafa”) em qualquer zona.	O objeto não deve ser detectado/registrado (não está na lista de suportados).
5.4	Mostrar múltiplos objetos não suportados simultaneamente.	Nenhum deles deve ser detectado/registrado.
5.5	Fazer um gesto não listado (ex.: gesto personalizado) em qualquer zona.	O gesto não deve ser reconhecido/processado.
5.6	Mover a mão para fora do campo de visão da câmera enquanto mantém um gesto.	O gesto deve parar de ser detectado e o rastreamento deve ser limpo.
5.7	Remover completamente um objeto do campo de visão da câmera.	O objeto deve parar de ser detectado e ser removido da zona correspondente.
5.8	Voltar com a mão/objeto para o campo de visão após removê-la.	A detecção deve recomeçar do zero (incluindo o tempo de validação de 2 segundos).
5.9	Sobrepor dois objetos na mesma zona.	O objeto com maior confiança deve ser registrado na zona.

APÊNDICE H – Testes de Limites

A Tabela 15 abaixo apresentar os casos de teste de limites.

Tabela 15 – Casos de teste de limites

ID	Ação	Retorno Esperado
6.1	Mostrar mais objetos do que o máximo configurado (mais de 16) no campo de visão.	Apenas os 16 objetos com maior confiança devem ser detectados.
6.2	Mostrar exatamente 16 objetos no campo de visão.	Todos os 16 objetos devem ser detectados e processados.
6.3	Mostrar mais de 2 mãos no campo de visão.	Apenas 2 mãos devem ser detectadas.
6.4	Mostrar exatamente 2 mãos no campo de visão.	Ambas as mãos devem ser detectadas e processadas.
6.5	Mostrar apenas 1 mão no campo de visão.	A mão deve ser detectada e processada normalmente.
6.6	Não mostrar nenhuma mão no campo de visão.	Nenhum gesto deve ser detectado.
6.7	Alternar rapidamente entre diferentes gestos na mesma zona (menos de 2 segundos por gesto).	Nenhuma ação deve ser executada (tempo mínimo de validação não atingido).
6.8	Alternar rapidamente entre diferentes objetos na mesma zona (menos de 2 segundos por objeto).	Nenhuma ação deve ser executada (tempo mínimo de validação não atingido).
6.9	Fazer um gesto válido, aguardar 2 segundos (executar a ação) e imediatamente trocar para outro gesto válido sem sair da zona.	A primeira ação deve ser executada; após 2 segundos a segunda ação também deve ser executada.

APÊNDICE I – Testes de Interface e Feedback Visual

A Tabela 16 abaixo apresentar os casos de teste de interface e *feedback* visual.

Tabela 16 – Casos de teste de interface e feedback visual

ID	**Ação**	**Retorno Esperado**
7.1	Colocar um objeto em uma zona de fase (INPUT1, INPUT2, GATE1, GATE2).	Um quadrado branco deve aparecer na posição do marcador definida para aquela zona.
7.2	Remover o objeto de uma zona de fase.	O quadrado branco deve desaparecer.
7.3	Trocar um objeto por outro na mesma zona de fase.	O quadrado branco deve permanecer (indicando que há um objeto detectado).
7.4	Fazer validação bem-sucedida com resultado 1 em uma zona.	Asset com número “1” deve aparecer na posição de resultado da zona.
7.5	Fazer validação bem-sucedida com resultado 0 em uma zona.	Asset com número “0” deve aparecer na posição de resultado da zona.
7.6	Fazer múltiplas validações consecutivas.	Os resultados antigos devem ser substituídos pelos novos.
7.7	Verificar se as zonas de gesto são renderizadas na visualização da câmera.	As zonas devem ser visíveis com as cores e textos definidos.
7.8	Verificar se as zonas de configuração são renderizadas na visualização da câmera.	As zonas SOM, BRILHO, COR e TAMANHO DE FONTE devem ser visíveis com suas respectivas cores.

Continua na próxima página

ID	Ação	Retorno Esperado
7.9	Verificar se as zonas de fase são renderizadas na visualização da câmera.	As zonas INPUT1, INPUT2, GATE1 e GATE2 devem ser visíveis com suas respectivas cores.
7.10	Após configurar brilho para 30% (“low_brightness”), verificar se toda a interface fica mais escura.	A interface do jogo deve receber uma sobreposição escura aplicada (70% de opacidade).
7.11	Após configurar brilho para 100% (“high_brightness”), verificar se a interface volta ao brilho normal.	Nenhuma sobreposição escura deve ser aplicada (0% de opacidade).
7.12	Após configurar cor para grayscale (“not_colored”), verificar se toda a interface fica em preto e branco.	Toda a interface do jogo deve ser renderizada em escala de cinza.
7.13	Após configurar cor para colorido (“colorful”), verificar se a interface volta às cores normais.	A interface do jogo deve ser renderizada em cores normais.