



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE — UFF
INSTITUTO DE BIOLOGIA — IB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E INCLUSÃO — PGCTIn

ELIAS DOS SANTOS SILVA JÚNIOR

A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

Orientadores: Prof.^a Dr.^a Fabiana Rodrigues Leta.
Prof.^a Dr.^a Ruth Maria Mariani Braz.



NITERÓI

2025

ELIAS DOS SANTOS SILVA JÚNIOR

**A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA
ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as
possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar
o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência
visual.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências, Tecnologias e Inclusão — PGCTIn, da Universidade Federal Fluminense — UFF, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Tecnologias e Inclusão.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Rodrigues Leta.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ruth Maria Mariani Braz.

NITERÓI

2025

Ficha catalográfica

S586c Silva Junior, Elias dos Santos
A computação tátil como tecnologia assistiva na
deficiência visual : os limites e as possibilidades de um
modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a
aprendizagem dos alunos com deficiência visual / Elias dos
Santos Silva Junior. - 2025.
313 f.: il.

Orientador: Fabiana Rodrigues Leta.
Coorientador: Ruth Maria Mariani Braz.
Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto
de Biologia, Niterói, 2025.

1. Ensino. 2. Pessoas com deficiência visual. 3. Tecnologia
Assistiva. 4. Computação. 5. Mapas táteis. I. Leta, Fabiana
Rodrigues, orientador. II. Braz, Ruth Maria Mariani,
coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto
de Biologia. IV. Título.

CDD - 371.102

Bibliotecário responsável: Ana Paula Lima dos Santos - CRB7/5618

ELIAS DOS SANTOS SILVA JÚNIOR

A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências, Tecnologias e Inclusão — PGCTIn, da Universidade Federal Fluminense — UFF, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Tecnologias e Inclusão.

BANCA EXAMINADORA

**Prof.^a Dr.^a Fabiana Rodrigues Leta — PGCTIn — UFF
(Orientadora/Presidente)**

**Prof.^a Dr.^a Ruth Maria Mariani Braz — PGCTIn — UFF
(Coorientadora)**

**Prof. Dr. Luiz Antônio Botelho Andrade — PGCTIn — UFF
(Revisor)**

Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Prudência dos Santos Caminha — PGCTIn — UFF

**Prof. Dr. Thiago Corrêa Lacerda — PGCTIn — UFF
(Suplente Interno)**

Prof. Dr. João Ricardo Melo Figueiredo — IBC

Prof. Dr. Saul Eliahú Mizarahi — INT

Prof.^a Dr.^a Ilma Rodrigues de Souza Fausto — IFRO

**Prof. Dr. José Ricardo de Souza Ramos — UCP
(Suplente Externo)**

Dedico esta pesquisa à minha mãe, Nair Abrantes Silva, que, com sacrifícios diários e imensa dedicação, garantiu a nós, seus filhos, o acesso digno à educação formal e à formação do nosso caráter, trabalhando incansavelmente pelo sustento familiar ao longo de muitos anos. À minha amada esposa, Ana Paula Lima dos Santos, que me guiou pelo caminho acadêmico e caminha lado a lado comigo, diariamente, nesta jornada. Vocês, pilares dessa conquista, merecem o meu mais profundo agradecimento neste dia tão feliz.

Estendo essa minha homenagem a todas as pessoas com deficiência que seguem reivindicando, com coragem e perseverança, uma sociedade mais justa e inclusiva, na esperança de dias cada vez mais felizes para todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, imensamente, à minha querida mãe, a Sr.^a Nair Abrantes Silva, pessoa de bom coração, batalhadora, simples e de muita força, pelo grande esforço em nos preparar para a vida e por nos manter fortes para o caminhar, os seus ensinamentos e exemplos de vida, carrego, silenciosamente, comigo.

Em especial à minha esposa, Ana Paula Lima dos Santos, cuja presença e apoio incondicional, na saúde e na doença, foram providenciais ao longo deste percurso, principalmente nos momentos mais desafiadores.

Aos integrantes da banca avaliadora, que contribuíram com o aprimoramento e a discussão desta pesquisa, enriquecendo-a com a ampliação dos temas abordados, principalmente, aos acadêmicos que nos acompanharam deste a qualificação e em especial ao professor revisor, pelas contribuições realizadas num curto espaço de tempo, o que nos permitiu defender a pesquisa em tempo hábil e em atendimento aos requisitos basilares deste programa de pós-graduação.

Aos meus pares, deixo aqui, os meus sinceros agradecimentos pelo companheirismo e apoio demonstrados ao longo desta jornada, durante as aulas remotas e trabalhos em grupo, na troca de ideias e de experiências, que foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho, tornando o ambiente acadêmico mais enriquecedor e colaborativo.

Sou grato, em especial, ao colega Humberto Bethoven e ao seu filho, Felipe, que enfrenta as barreiras da baixa visão, pessoa incrivelmente inteligente e acima da média, por cada contribuição, sendo significativa para mim.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Fabiana Leta, pelas orientações, pela dedicação, pela credibilidade empregada à pesquisa e por selecioná-la no processo seletivo do PGCTIn, pois acreditar é o primeiro passo.

Deus, o senhor sabe de tudo! Muito mais do que podemos compreender, conhecemos e podemos pesquisar, ao Senhor, todo o poder, a honra e toda a glória para todo o sempre! A minha vida sempre estará nas suas mãos e não sei

o que terei, mas busco o hoje, a cada abrir dos olhos, diariamente, enquanto me for permitido, faça-me o seu instrumento sempre.

A minha coorientadora, Prof.^a Dr.^a Ruth Maria Mariani Braz, que trabalha, incansavelmente, pela boa formação dos seus educandos, sendo difícil descrever a sua importância para cada um dos seus orientandos, mas como aluno, vejo-lhe como exemplo do que é ser professor, acredito no potencial de todos os educandos que querem, adoto uma postura ativa com a educação, é, assim, como lhe vejo e sigo os seus passos, muito obrigado professora.

A todos os professores do programa do PGCTIn, muito obrigado pelo conhecimento e pelas experiências, aprendi com todos.

Ao professor participante da pesquisa do Colégio Pedro II, muito obrigado pela disponibilidade, colaboração e sinceras considerações que contribuíram com o desenvolvimento e com os resultados apresentados nesta pesquisa.

Aos Alunos com deficiência visual que participaram da pesquisa, a cada crítica, elogios, oportunidades de melhorias para o MCT, a cada contribuição de vocês, que foram fundamentais para enriquecer os resultados deste trabalho de pesquisa e para aprofundar a compreensão sobre os desafios e as potencialidades no complexo caminho da inclusão, sou grato a todos pela ilustre participação, que tornou esta caminhada ainda mais significativa e transformadora, acreditem, aprendi muito com vocês.

Expresso aqui a minha profunda gratidão à Universidade Federal Fluminense — UFF, pois em um passado recente, enquanto atuava como prestador de serviços na área de TI, tive a oportunidade de adentrar o Campus do Gragoatá em atendimento de um chamado técnico e ao percorrer suas dependências, despertou-se em mim, mesmo que de forma ainda distante naquele momento, a certeza de que aquele era o meu lugar, desde então, a UFF tornou-se minha casa, e é com orgulho que, como seu discente, dedico-me a oferecer sempre o meu melhor.

Ao importante Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inclusão — PGCTIn, minha casa e refúgio científico.

Aos professores que atuam na deficiência visual, expresso o meu profundo respeito e admiração, pois reconheço que ser docente é enfrentar desafios diários e assumir grandes responsabilidades, e a vossa dedicação é, verdadeiramente, inspiradora e um exemplo a ser seguido por todos nós.

Ao Professor Dr. João Ricardo Melo Figueiredo, de baixa visão, colega, saiba que até os heróis possuem heróis de referência. Obrigado pelo exemplo de vida.

Ao Professor e futuro Dr. Cristiano M. Moreira, cego, colega, lembro-me de nossas conversas na UFF, sempre sorridente e outro exemplo de vida para todos nós.

Às pessoas com deficiência visual, a determinação e a resiliência demonstradas por cada um de vocês não só contribuíram com a pesquisa, mas também são exemplos inspiradores de superação e de coragem que levo para a vida. Tudo construído de vocês para vocês, obrigado pelo exemplo!

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, especialmente, aos colegas docentes e técnicos administrativos do CPDA, minha antiga casa, que sempre me apoiaram durante a pesquisa, em especial, o meu agradecimento ao Professor Dr. Cícero Augusto Prudêncio Pimenteira e ao "Regis", amigos de várias tarefas técnicas e muitas conversas. Muito obrigado!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, IFF, Campus São João da Barra–RJ, minha atual casa, agradeço aos colegas pela paciência, incentivo, ajuda e compreensão, afinal, a trajetória de um doutorando exige dedicação e superação intensas e constantes, assim, posso dizer que o time do IFF SJB é diferenciado.

Ao LABMAKER do IFF em São João da Barra pelo apoio, em especial à Karine Rangel, que nos ajudou com o processo dos cortes a laser, também ao Jean Carlos Barreto Henriques Filho, que é um MAKER nato, por se dispor a nos auxiliar no que a pesquisa necessitasse, à Prof.^a Dr.^a Cassiana Barreto Hygino Machado pela ajuda e parceria nos projetos de pesquisa relacionados ao IFF SJB, facilitando as minhas ações de pesquisador, poupando-me bastante tempo empregado na pesquisa de campo e, enfim, a todos os colegas do IFF SJB, que, direta ou indiretamente, nos ajudaram de alguma forma, sou grato a todos.

Aos meus alunos, aguerridos torcedores pelo fim dessa pesquisa, vocês são fundamentais para o sucesso deste trabalho, afinal, o conhecimento deve ser difundido e trabalhamos por todos vocês que buscam pelo conhecimento.

Aos que acreditam em mim, pelo apoio inabalável e pela confiança depositada em minhas ações e trajetória, pois precisamos receber do outro, o que, às vezes, não conseguimos enxergar em nós mesmos.

A todos os que não foram mencionados, muito pelo meu esquecimento, pois entendo que ninguém realiza nada sozinho e às diversas pessoas que fazem parte dessa nossa caminhada, mas não é possível citar a todos, pois, agora, necessitamos ter o devido espaço para a exposição desta pesquisa, para todos esses, expresso o meu muito obrigado!

Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis.

(Radabaugh, 1993)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OS OBJETIVOS.....	3
2.1	O objetivo geral da pesquisa.....	3
2.2	Os objetivos específicos da pesquisa.....	3
3	O REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	As políticas públicas em face das PcD	4
3.2	As especificidades das pessoas com deficiência visual.....	14
3.3	Os sentidos no ensino-aprendizagem das pessoas DV	21
3.4	As tecnologias assistivas no ensino das pessoas DV.....	24
3.5	A educação básica para as pessoas DV no Brasil	27
3.5.1	O protagonismo dos docentes com deficiência na educação...	28
3.5.2	O protagonismo dos discentes com deficiência na educação ..	38
4	A JUSTIFICATIVA	48
5	MATERIAIS E MÉTODOS	57
5.1	A Modelagem Conceitual Computacional Tátil – MCT	63
5.1.1	A primeira etapa: preparação e identificação das matrizes	64
5.1.2	A segunda etapa: incubação e conexão inconsciente	67
5.1.3	A terceira etapa: iluminação e <i>insight</i> criativo.....	67
5.1.4	A quarta etapa: verificação e refinamento do conceito.....	68
5.2	A prototipação das provas conceituais do MCT.....	68
5.2.1	A FASE_01 da pesquisa – A definição da interface.....	69
5.2.2	A FASE_02 da pesquisa de campo — As provas de conceito...	73
5.3	O desenho da validação do MCT em campo.....	74
5.3.1	A FASE_03 na pesquisa – A validação docente.....	75
5.3.2	A FASE_04 na pesquisa – A validação discente	79
5.4	O desenho da avaliação do MCT em campo	84
5.4.1	A FASE_05 na pesquisa – A avaliação na visão docente.....	84
5.4.2	A FASE_06 na pesquisa – A avaliação na visão discente.....	90
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
6.1	O Modelo Conceitual Computacional Tátil – MCT	96
6.1.1	A preparação e a identificação das matrizes.....	98
6.1.1.1	A modelagem conceitual das especificidades da DV	99
6.1.1.2	A modelagem conceitual da neuroplasticidade na DV	103
6.1.1.3	A modelagem conceitual das Tecnologias Assistivas	103
6.1.1.4	A modelagem conceitual do design dos objetos.....	104
6.1.1.5	A modelagem conceitual da interação com os objetos.....	111

6.1.1.6	A modelagem conceitual computacional.....	112
6.1.2	A incubação e a conexão inconsciente	119
6.1.3	A iluminação e o <i>insight</i> criativo	124
6.1.4	A verificação e o refinamento do conceito	135
6.1.4.1	O hardware do Computador Tátil do MCT	135
6.1.4.2	O design do invólucro do Computador Tátil do MCT	142
6.1.4.2.1	A modelagem em 3D do invólucro do MTC	142
6.1.4.2.2	O fatiamento em 3D do invólucro do MCT	144
6.1.4.2.3	A impressão em 3D do invólucro do MCT	149
6.1.4.3	O firmware embarcado no Computador Tátil do MCT	160
6.2	As provas de conceito do MCT	170
6.2.1	As interfaces temáticas experimentais do MCT	170
6.2.2	As provas conceituais do MCT	172
6.3	A validação do MCT	185
6.3.1	A validação conceitual do MCT na visão docente	185
6.3.2	A validação conceitual do MCT na visão discente	227
6.4	Os limites e as possibilidades do MCT	238
6.4.1	A avaliação conceitual do MCT na visão docente	239
6.4.2	A avaliação conceitual do MCT na visão discente.....	248
7	CONCLUSÃO	259
8	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	265
	REFERÊNCIAS.....	267
	APÊNDICE A – O CRONOGRAMA DA PESQUISA	284
	APÊNDICE B – OS CUSTOS QUE ENVOLVERAM A PESQUISA	286
	APÊNDICE C – REPOSITÓRIO DAS INTERFACES DO MCT EM 3D	287
	APÊNDICE D – MODELO DE TCLE DOCENTE.....	288
	APÊNDICE E – MODELO DE TALE DISCENTE	289
	APÊNDICE F – MODELO DE TCLE DOS RESPONSÁVEIS.....	290
	ANEXO A – DECLARAÇÃO DE MATRÍCULA UFF	291
	ANEXO B – A PLATAFORMA BRASIL	292

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Políticas Sociais e as suas fases.	5
Figura 2 – Acuidade Visual.....	14
Figura 3 – Modelo Funcional da Visão de Corn.	17
Figura 4 – A Classificação Funcional — Método Bust.....	19
Figura 5 – Docentes da Educação Básica no Brasil por regiões.....	28
Figura 6 – Docentes na Educação Básica por Regiões.	29
Figura 7 – Docentes PcD da Educação Básica Especial no Brasil.	29
Figura 8 – Total de Docentes PcD da Educação Especial.	30
Figura 9 – Docentes PcD da Educação em Classes Comuns e Exclusivas.....	30
Figura 10 – Percentual de Docentes da Educação Especial em Classes.	31
Figura 11 – Docentes X Docentes PcD da Educação Especial do Brasil.....	31
Figura 12 – Docentes PcD frente aos Docentes da Educação Básica.....	32
Figura 13 – Docentes DV da Educação Especial no Brasil e por Regiões.....	32
Figura 14 – Docentes DV atuantes na educação especial.....	33
Figura 15 – Relação entre os Docentes DV e os Docentes Cegos.	34
Figura 16 – Percentual entre os Docentes DV e os Docentes Cegos.	34
Figura 17 – Docentes Cegos da Educação Especial nas Regiões do Brasil....	35
Figura 18 – Números dos Docentes DV e dos Docentes de Baixa Visão.	36
Figura 19 – Relação entre os Docentes DV e os Docentes de Baixa Visão. ...	36
Figura 20 – Docentes de Baixa Visão da Educação Especial em Regiões.....	37
Figura 21 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos.	38
Figura 22 – Matrículas dos Alunos distribuídos por região do Brasil.....	39
Figura 23 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos PcD.....	40
Figura 24 – Matrículas dos Alunos PcD em Regiões do Brasil.	40
Figura 25 – Matrículas das PcD em Classes Comuns X Classes Exclusivas. .	41
Figura 26 – Percentual de Matrículas das PcD frente aos outros Alunos.	42
Figura 27 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos DV.	43
Figura 28 – Matrículas dos Alunos com Deficiência em Regiões do Brasil.....	43
Figura 29 – Matrículas dos Alunos DV X Alunos cegos e de BV.....	44
Figura 30 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos Cegos.	44

Figura 31 – Matrículas dos Alunos Cegos em Regiões do Brasil.....	45
Figura 32 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos de Baixa Visão.....	46
Figura 33 – Matrículas dos Alunos de Baixa Visão em Regiões.	46
Figura 34 – A Lei Brasileira de Inclusão – O Direito à Educação.	49
Figura 35 – A Lei Brasileira de Inclusão – A tecnologia assistiva.....	50
Figura 36 – A Lei Brasileira de Inclusão – A Ciência e Tecnologia.	50
Figura 37 – Pessoas com Deficiência no Brasil – IBGE 2010.....	52
Figura 38 – PcD no Brasil com mais de 2 anos – IBGE 2023.	53
Figura 39 – Censo IBGE 2022 – Tipos de Dificuldades.	54
Figura 40 – Censo IBGE 2022 – Tipos de Dificuldades II.	54
Figura 41 – A Fase_01 da pesquisa na prototipagem evolutiva.....	69
Figura 42 – A Definição das Interfaces Experimentais.....	70
Figura 43 – A Fase_02 da pesquisa na prototipagem evolutiva.....	73
Figura 44 – A Fase_03 da pesquisa na Prototipagem evolutiva.	75
Figura 45 – O Fluxograma de Validação Docente.....	76
Figura 46 – O Fluxograma de Validação Discente.	80
Figura 47 – O Fluxograma de Avaliação Docente.....	85
Figura 48 – O Fluxograma de Avaliação Discente.	90
Figura 49 – Modelo mental de um produto.....	106
Figura 50 – Paradigma da Prototipação.	116
Figura 51 – Mapeamento Inconsciente das matrizes do MCT.	122
Figura 52 – Modelagem digitalizada das matrizes do MCT.....	123
Figura 53 – O conceito do MCT – Matriz das Especificidades.	125
Figura 54 – O conceito do MCT – Matriz da Neuroplasticidade.	126
Figura 55 – O conceito do MCT – Matrizes da Interação, <i>Design</i> e TA.	128
Figura 56 – O conceito do MCT – Matriz Computacional.....	130
Figura 57 – O conceito do MCT – Atores do Sistema.	131
Figura 58 – O conceito de Modelagem Computacional Tátil.....	132
Figura 59 – ESP32 – NodeMCU ESP-12.	136
Figura 60 – As especificações básicas do ESP32.	136
Figura 61 – A pinagem do ESP32.....	137
Figura 62 – A pinagem do Computador Tátil do MCT.	138
Figura 63 – Os módulos Funcionais do Computador Tátil do MCT.....	138
Figura 64 – Desenvolvimento do hardware do MCT.	141

Figura 65 – Modelo em 3D do Computador Tátil do MCT.....	143
Figura 66 – Modelagem em 2D do Computador Tátil do MCT.....	144
Figura 67 – O fatiamento do invólucro do MCT.....	145
Figura 68 – A primeira camada de fatiamento do invólucro do MCT.....	146
Figura 69 – A visão em 25% do fatiamento do invólucro do MCT.....	147
Figura 70 – A visão em 50% do fatiamento do invólucro do MCT.....	147
Figura 71 – A visão em 75% do fatiamento do invólucro do MCT.....	148
Figura 72 – A visão em 100% do fatiamento do invólucro do MCT.....	148
Figura 73 – Impressora 3D RapRep Agraber i3 em MDF aberta.	149
Figura 74 – Impressora 3D Agraber 30i em frame de alumínio aberta.....	151
Figura 75 – Impressora 3D Agraber 30i em alumínio fechada com MDF.....	152
Figura 76 – Visão interna da impressora Agraber 30i fechada.....	152
Figura 77 – Impressora 3D Ender 5 S1 da Creality.....	153
Figura 78 – Firmware do Klipper para Impressora 3D.....	154
Figura 79 – A impressão da base deslizante do Computador Tátil.	156
Figura 80 – A impressão da base do invólucro do computador tátil.	156
Figura 81 – A visão interna do invólucro do Computador Tátil do MCT.	157
Figura 82 – Interface DB25 do computador tátil.	157
Figura 83 – A visão interna da caixa deslizante do computador tátil do MCT.	158
Figura 84 – O conjunto do invólucro do computador tátil do MCT.....	158
Figura 85 – Módulos do MCT encaixados via conector serial DB25.	159
Figura 86 – Configuração final do invólucro do MCT.	159
Figura 87 – Saídas do computador tátil do MCT.	160
Figura 88 – IDE do Arduíno – <i>Firmware</i> do MCT.	161
Figura 89 – Inicialização on-line do MCT.	162
Figura 90 – Arquivo de configuração do MCT.....	163
Figura 91 – Inicialização off-line do MCT.	164
Figura 92 – Reprodução de audiodescrição on-line.....	165
Figura 93 – Reprodução de audiodescrição off-line.....	165
Figura 94 – Comandos de terminal do MCT.....	166
Figura 95 – Comando de dados na interface serial do MCT.	167
Figura 96 – Debug da sensibilidade tátil do computador tátil.	167
Figura 97 – Conexão ao MCT via Wi-Fi.	168
Figura 98 – Interfaces Web do MCT.	169

Figura 99 – O projeto básico – Célula Vegetal.	173
Figura 100 – O projeto básico – Célula Animal.	174
Figura 101 – Diferenças entre as células animais e vegetais.....	176
Figura 102 – Relação das organelas vegetais e animais.	177
Figura 103 – Base das células vegetal e animal.	178
Figura 104 – Bases celulares em MDF.	179
Figura 105 – Modelagem experimental da célula vegetal.	183
Figura 106 – Modelagem experimental da célula animal.	184
Figura 107 – A célula vegetal em suas cores experimentais.....	189
Figura 108 – A célula animal em suas cores experimentais.....	190
Figura 109 – Interface Experimental do MCT – Célula Vegetal.....	192
Figura 110 – Interface Experimental do MCT – Célula Animal.....	193
Figura 111 – Base em 2D da moldura de escrita em tinta e Braille.....	194
Figura 112 – A área de escrita em tinta na moldura do MCT.....	195
Figura 113 – A construção das células Braille na moldura do MCT.	195
Figura 114 – Moldura em tinta e em Braille do MCT finalizada.....	196
Figura 115 – Conector de alimentação USB tipo C do MCT.	196
Figura 116 – Parede Celular e Membrana Plasmática vegetal.	197
Figura 117 – Citoplasma e Membrana Plasmática animal.	198
Figura 118 – A construção da base celular do MCT.	202
Figura 119 – A colagem das estruturas celulares.	202
Figura 120 – A preparação para texturização das células.	203
Figura 121 – A montagem das células.....	203
Figura 122 – Textura e pintura das células.	204
Figura 123 – A pintura base das células.	204
Figura 124 – A preparação da base das interfaces temáticas do MCT.....	205
Figura 125 – A montagem das células e dos símbolos táteis.....	206
Figura 126 – A instalação dos pontos metálicos táteis na interface.	206
Figura 127 – A interface experimental da célula vegetal do MCT.	207
Figura 128 – A interface experimental da célula animal do MCT.	208
Figura 129 – Ligação entre os sensores táteis e o computador tátil.	209
Figura 130 – Repositório on-line do MCT.....	224
Figura 131 – Análise da célula vegetal pelo professor participante.....	225
Figura 132 – Análise da célula animal pelo professor participante.....	225

Figura 133 – Aluno participante 01 em validação da célula vegetal.....	228
Figura 134 – Aluno participante 01 em validação da célula animal.....	229
Figura 135 – Aluno participante 02 em validação da célula vegetal.....	231
Figura 136 – Aluno participante 02 em validação da célula animal.....	232
Figura 137 – Aluno participante 03 em validação da célula vegetal.....	234
Figura 138 – Aluno participante 03 em validação da célula animal.....	234
Figura 139 – Autorização de reprodução das audiodescrições no MCT.	237

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Políticas Públicas destinadas às PcD — I.....	6
Quadro 2 – Políticas Públicas destinadas às PcD — II.....	11
Quadro 3 – Categorias das Tecnologias Assistivas.	25
Quadro 4 – Avaliação Docente das Funcionalidades do MCT.	88
Quadro 5 – Avaliação Docente das Características do MCT.	89
Quadro 6 – Avaliação Discente das Funcionalidades do MCT.....	93
Quadro 7 – Avaliação Discente das Características do MCT.....	94
Quadro 8 – O Estado da Arte na construção de Mapas Táteis.	107
Quadro 9 – Mapa CEMT – Recursos Computacionais.....	113
Quadro 10 – A reorganização das Matrizes Conceituais do MCT.....	120
Quadro 11 – Organelas modeladas em 3D.....	180
Quadro 12 – Oportunidade de melhorias docentes.....	186
Quadro 13 – Organelas modeladas e impressas em 3D.....	199
Quadro 14 – Estudo dirigido sobre a célula vegetal.	210
Quadro 15 – Estudo dirigido sobre a célula animal.	218
Quadro 16 – A avaliação docente das funcionalidades do MCT.....	246
Quadro 17 – A avaliação docente das características do MCT.....	247
Quadro 18 – O tempo de estudo e erros nas interfaces do MCT.	249
Quadro 19 – A avaliação discente das funcionalidades do MCT.	255
Quadro 20 – A avaliação discente das características do MCT.	257

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AEE — Atendimento Educacional Especializado
CAAE — Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CEMT — Computação Embarcada em Mapas Táteis
CENESP — Centro Nacional de Educação Especial
CEP — Comitê de Ética na Pesquisa
CNEC — Campanha Nacional de Educação dos Cegos
CMPDI — Curso de Mestrado Profissional em Diversidade e Inclusão
CONADE — Conselho Nacional de Direitos da Pessoa com Deficiência
CP2 — Colégio Pedro II
CNC — *Computer Numeric Control*
CSN — Conselho Nacional de Saúde
DV — Deficiência Visual
ECA — Estatuto da Criança e do Adolescente
FDM — *Fused Deposition Modeling*
FME — Fundação Municipal de Educação
GPIO — *General-Purpose Input/Output*
I2C — *Inter-Integrated Circuit*
I2S — *Inter-Integrated Circuit Sound*
IBC — Instituto Benjamin Constant
IDE — Ambiente de Desenvolvimento Integrado
LBI — Lei Brasileira de Inclusão
LCD — Display de Cristal Líquido
LIBRAS — Língua Brasileira de Sinais
MEC — Ministério da Educação
MCT — Modelagem Computacional Tátil
MDF — *Medium-Density Fiberboard*
ONU — Organização das Nações Unidas
PcD — Pessoa com Deficiência
PGCTIn — Pós-Graduação em Ciências, Tecnologias e Inclusão
PNE — Plano Nacional de Educação
R'
EL — Retículo Endoplasmático Liso
RER — Retículo Endoplasmático Rugoso
Secadi — Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão
SDCard — *Secure Digital Card*
Seesp — Secretaria de Educação Especial
SRM — Sala de Recursos Multifuncionais
SPI — *Serial Peripheral Interface*
SUS — Sistema Único de Saúde
TA — Tecnologia Assistiva
TCM — *Tactile Computational Modeling*
UART — *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*
UFF — Universidade Federal Fluminense
USB — *Universal Serial Bus*

RESUMO

O corpo humano é um instrumento de aprendizagem, pois os sentidos são, constantemente, utilizados como entradas que estimulam o sistema nervoso central na construção do conhecimento. As leis garantem aos estudantes o devido acesso ao sistema educacional brasileiro, mas, na prática, os professores, os alunos e as escolas não possuem os suportes necessários para a entrega de uma educação de qualidade e inclusiva, que facilite ao discente o desenvolvimento de seu êxito acadêmico em busca do conhecimento. A ciência aponta que a estimulação dos sentidos no processo de ensino e de aprendizagem proporciona um maior rendimento escolar aos educandos. As pessoas com deficiência visual necessitam de tecnologia assistiva que estimulem os sentidos, principalmente o do tato e o da audição, para que esses discentes possam ser plenos nos seus estudos. O desenvolvimento dos modelos computacionais que estimulem os sentidos em conjunto com os conteúdos acadêmicos apoia o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual. A pesquisa estabeleceu o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT) que une o tato, a audição e a visão funcional remanescentes, simultaneamente, empregados aos conteúdos acadêmicos, apoiando o ensino em qualquer área do conhecimento. Aplicamos a pesquisa denominada o estado da arte para a construção de mapas táteis utilizados, como as interfaces interativas deste modelo. As especificidades da deficiência visual, a neurociência na deficiência visual, a tecnologia assistiva, o *design* dos objetos, a interação com os objetos e os recursos computacionais foram as matrizes conceituais utilizadas, que resultaram no conceito de Modelagem Computacional Tátil, em atendimento ao objetivo geral da pesquisa. As provas de conceitos foram prototipadas, evolutivamente, por meio da modelagem e da impressão em 3D para atestar a eficácia do modelo aplicado no ambiente de campo. Os limites e as possibilidades foram identificados através da validação e avaliação do modelo por meio de questionários abertos e fechados, entrevistas gravadas com os discentes com deficiência visual e com o docente vinculado ao Colégio Pedro II. Os participantes da pesquisa opinaram sobre este conceito de Modelagem Computacional Tátil. Apresentamos os resultados que apontaram o MCT como uma tecnologia assistiva que apoia a prática docente em expor os conteúdos acadêmicos para os discentes com deficiência visual que obtiveram mais autonomia e um conteúdo melhor estruturado, apoiando o seu processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino. Pessoas com Deficiência Visual. Tecnologia Assistiva. Computação. Mapas Táteis.

ABSTRACT

The human body is an instrument of learning, since the senses are constantly used as inputs that stimulate the central nervous system in the construction of knowledge. Although legislation guarantees students access to the Brazilian educational system, in practice teachers, learners, and schools lack the necessary support to deliver a high-quality, inclusive education that facilitates students' academic success in the pursuit of knowledge. Research shows that sensory stimulation in the teaching–learning process leads to improved academic performance. Visually impaired individuals require assistive technologies that engage the senses, especially touch and hearing, so that they may fully participate in their studies. The development of computational models that integrate sensory stimulation with academic content supports the teaching and learning of visually impaired students. This research established the concept of Tactile Computational Modeling (TCM), which simultaneously combines touch, hearing, and residual functional vision in the presentation of curricular material, thereby supporting instruction across all fields of knowledge. We conducted a state-of-the-art review to inform the creation of tactile maps, which serve as the interactive interfaces of this model. The conceptual frameworks employed included the specificities of visual impairment, neuroscience of visual impairment, assistive technology, object design, user–object interaction, and computational resources, all of which culminated in the formulation of the TCM concept, aligned with the study's overarching objective. Proofs of concept were iteratively prototyped through 3D modeling and printing to validate the model's effectiveness in real-world settings. Its limitations and potentials were identified through validation and evaluation via open- and closed-ended questionnaires, as well as recorded interviews with visually impaired students and the faculty member affiliated with Colégio Pedro II. Participants provided feedback on the TCM concept, and the results indicate that TCM functions as an assistive technology that enhances teaching practice by presenting academic content to visually impaired learners, who, in turn, gained greater autonomy and benefited from more coherently structured material, thereby supporting their teaching and learning processes.

Keywords: Teaching. Visually Impaired Individuals. Assistive Technology. Computing. Tactile Maps.

1 INTRODUÇÃO

Esta tese apresenta os resultados desta pesquisa ao Programa de Pós-graduação em Ciências, Tecnologias e Inclusão, vinculado ao Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense (PGCTIn-UFF), como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Tecnologias e Inclusão.

As leis brasileiras que integram as políticas públicas inclusivas justificam essa pesquisa, que desenvolveu uma tecnologia assistiva computacional, em valorização da inclusão, na prática, e em benefício das pessoas com deficiência visual no seu ambiente de ensino e de aprendizagem.

No mestrado, em 2008, apresentamos a pesquisa intitulada: A Internet das Coisas e a Plataforma Arduino como Computação Embarcada em Mapas Táteis: Uma avaliação dessa tecnologia assistiva para o ensino das pessoas ouvintes com deficiência visual, ao Curso de Mestrado Profissional em Diversidade e Inclusão (CMPDI-UFF), com resultados relevantes em apoio ao ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

Esse protótipo foi construído artesanalmente em madeira, apresentando diversas características e funcionalidades que, posteriormente, foram evoluídas e ampliadas na pesquisa de doutorado.

Em continuidade à pesquisa de mestrado, isto é, no doutorado, desenvolvemos uma nova arquitetura empregada por meio do computador tátil, permitindo o uso de diversas interfaces temáticas e ampliando a aplicação dessa arquitetura computacional para diferentes áreas do conhecimento.

Outro aspecto relevante foi a necessidade de automatizar a prototipagem, facilitando o processo de construção das interfaces temáticas, sendo as células Eucarionte Vegetal e Animal, que materializaram as provas de conceito aplicadas na pesquisa em campo no Colégio Pedro II na unidade de Niterói.

A adoção da modelagem e da impressão em 3D contribuiu, significativamente, para automatizarmos a construção dessas interfaces, sem eliminar a possibilidade da utilização de materiais mais artesanais e de baixo custo, tais como: papelão, madeira, cola, entre outros, facilmente encontrados em comércios locais.

No doutorado acadêmico, estabelecemos o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT), que uniu seis matrizes conceituais que contribuíram com o cumprimento do objetivo geral proposto na pesquisa.

A pesquisa está inserida na linha 1 do Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inclusão (PGCTIn): **“Práticas educativas, desenvolvimento e análise de materiais nas interfaces das ciências, tecnologias e inclusão”**.

Nessa modelagem, aplicamos os conceitos computacionais, de interação com os objetos e de design a serviço do ensino e da aprendizagem de modelo universal, incluindo as pessoas com deficiência visual no sentido em que disponibilizamos funcionalidades e características que auxiliem o trabalho docente e apoiem o ensino e a aprendizagem desses educandos.

Em face dos contextos apresentados, elaboramos a seguinte questão de pesquisa: **quais são os limites e as possibilidades do Modelo Computacional Tátil (MCT) como tecnologia assistiva em apoiar o ensino e aprendizagem das pessoas com deficiência visual em diversas áreas do conhecimento?**

Apresentamos soluções que foram incorporadas aos mapas táteis, nos quais são recursos de Tecnologia Assistiva (TA) bem consolidados nos ambientes educacionais e amplamente utilizados como recursos em salas e recursos para o desenvolvimento educacional de nosso público-alvo.

A pesquisa elevou o grau tecnológico dos recursos de tecnologia assistiva destinadas às pessoas com deficiência visual, partindo do princípio de que todos os envolvidos (docentes, discente e profissionais da educação) foram protagonistas nesta construção, opinando sobre o estado da arte implementados na evolução das interfaces do modelo computacional que desenvolvemos em campo, ao longo dessa pesquisa.

A pesquisa em campo valorizou as experiências e as demandas dos participantes como parte dos resultados. Para isso, projetamos as provas de conceitos de validação e de avaliação da teoria conceitual da Modelagem Computacional Tátil aplicada em campo.

No próximo tópico, apresentamos como estruturamos o objetivo geral e enumeramos os quatro objetivos específicos atingidos no decorrer da execução da pesquisa realizada em campo.

2 OS OBJETIVOS

2.1 O objetivo geral da pesquisa

Estabelecer o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT) que permita a união dos sentidos do tato, da audição e o da visão funcional remanescentes, simultaneamente, empregados aos conteúdos acadêmicos numa proposta de modelagem de desenho universal, interativa, interdisciplinar e escalável que apoie o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em qualquer área do conhecimento.

2.2 Os objetivos específicos da pesquisa

1. Elaborar o conceito da Modelagem Computacional Tátil (MCT);
2. Prototipar as provas de conceitos que materializem o MCT, aplicando as suas técnicas (**FASE_01** e **FASE_02** da pesquisa de campo);
3. Validar os conceitos do MCT por meio dos protótipos (provas de conceitos) aplicados em campo (**FASE_03** e **FASE_04** da pesquisa de campo); e
4. Avaliar os limites e as possibilidades do MCT em apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em diversas áreas do conhecimento na opinião dos participantes da pesquisa realizada em campo (**FASE_05** e **FASE_06** da pesquisa de campo).

3 O REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 As políticas públicas em face das PcD

As políticas públicas regulam a vida cidadã em uma sociedade civil organizada. Mead (1995) destaca o papel do governo como responsável pela execução das grandes questões públicas, perspectiva também defendida por Lynn (1980), que define essas políticas como ações promovidas pelo Estado, visando alcançar resultados específicos. Nessa mesma linha, Peters (1986) entende as políticas públicas como o produto de um conjunto de ações governamentais que impactam diretamente na vida dos cidadãos.

Por meio desse conjunto de conceitos, concluímos que as políticas públicas solucionam problemas específicos da sociedade organizada a partir de ações legais realizadas por meio de nossos gestores.

Segundo Vivarta (2003, p.17), os direitos das pessoas com deficiência (PcD) podem ser classificados em três fases: “a política da segregação, a política de integração e a política de uma sociedade inclusiva”. Para o autor, por séculos as PcD eram rotuladas como cidadãos imprestáveis, sendo inseridas num contexto de exclusão social total.

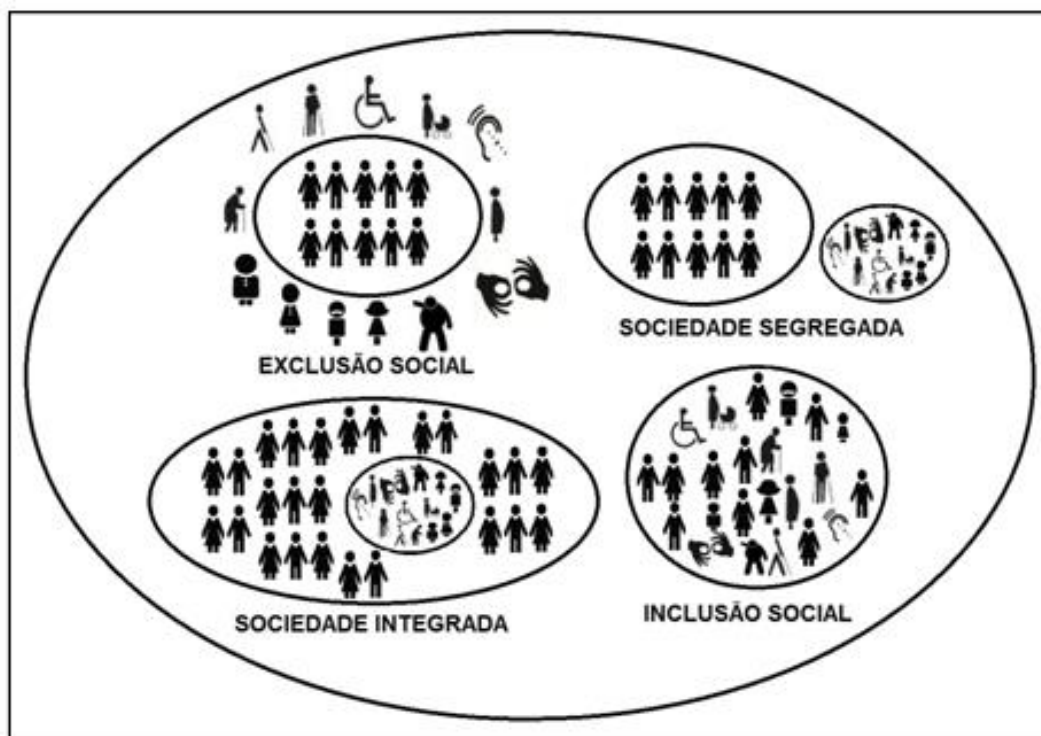
Vivarta (2003) afirma que as políticas de segregação foram idealizadas no final do século XIX e implantadas até a década de 1940, quando impôs a internação das PcD em instituições fechadas, sendo interpretados como um processo humanitário.

Após a fase das políticas de segregação, Vivarta (2003) nos recorda sobre as políticas de integração que iniciaram as adaptações das PcD ao meio social, surgindo na década de 1980.

Os limites da integração são ultrapassados, dando forma aos conceitos de uma sociedade mais inclusiva, por intermédio das políticas de direitos humanos de organizações internacionais e em direitos assegurados na Constituição do Brasil de 1988, propiciando dispositivos legais destinados às PcD, permitindo-lhes o exercício do pleno direito à vida cidadã.

Na Figura 1 – Políticas Sociais e as suas fases, representamos uma abordagem mais ampla para diferenciar as fases, anteriormente apresentadas por Vivarta (2003).

Figura 1 – Políticas Sociais e as suas fases.



Fonte: Adaptada de Nogueira (2012, p. 1).

A produção legislativa brasileira é bem extensa no que tange aos direitos reservados às PcD, permitindo-lhes muitos avanços jurídicos, podendo, assim, abrir um caminho para que o Brasil se torne uma sociedade mais inclusiva.

Vivarta (2003) aponta o Brasil como signatário de diversos acordos internacionais que tratam da inclusão das PcD ao meio social.

Desde 1990, o governo assinou junto à Organização das Nações Unidas (ONU) a Resolução 45/91 que preconiza a construção de políticas públicas inclusivas, assumindo o compromisso de prover uma sociedade global para todos por volta de 2010.

Silva Junior (2018) enumerou diversos atos legislativos que marcaram a evolução das políticas públicas brasileiras mais relevantes às PcD, desde o Brasil Império até o ano de 2016.

No Quadro 1, estruturamos, cronologicamente, essas importantes políticas que materializaram a evolução da sociedade inclusiva brasileira, por meio de alguns acordos internacionais, nos quais o Brasil se encontra como signatário.

Quadro 1 – Políticas Públicas destinadas às PcD — I.

Ano	Lei	Resumo
1854	Decreto n.º 1.428	Inauguração do Instituto Imperial dos Meninos Cegos, tendo como uma das suas finalidades a de prover as pessoas com deficiência visual a instrução primária; a educação moral e religiosa; o ensino da música, algumas instruções secundárias e atividades fabris, atualmente, está localizado no Instituto Benjamin Constant (IBC) nomeado por força de Decreto n.º 1.320 em 24 de janeiro de 1891 (Brasil, 1854).
1857	Lei 939	A criação, pelo Império, do Instituto Imperial para Surdos-Mudos, que, em 6 de julho de 1957, por força de Lei n.º 3198, passou a ser chamado de Instituto Nacional de Educação dos Surdos (INES) (Brasil, 1857).
1948	Declaração Universal dos Direitos Humanos — ONU	A Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou a Declaração Universal dos Direitos Humanos, cujo artigo 1.º define que todos os seres humanos nascem livres e iguais nos seus direitos e dignidade, no artigo 2.º, todos gozam de direitos e liberdades sem qualquer distinção, por raça, cor, sexo, idioma, religião, opinião política ou de outra natureza, origem nacional ou social, riqueza, nascimento, ou qualquer outra e no seu artigo 26.º que todos têm o direito à educação gratuita nos graus elementares, sendo a educação fundamental obrigatória e a técnico-profissional. A educação superior é acessível a todos por mérito (ONU, 1948).
1958	Decreto n.º 44.236	Foi instituída, no Instituto Benjamin Constant, a Campanha Nacional de Educação e Reabilitação dos Deficitários Visuais que consistia em instalar e manter em funcionamento os Centros de Reabilitação e Oficinas, também, promover reabilitações em domicílio, para reabilitar e integrar as pessoas com deficiência visual em atividades comerciais, industriais, agrárias, científicas, artísticas e educativas, nas empresas públicas e privadas. Esse Decreto visou à promoção para a integração das pessoas com deficiência visual em intuições de ensino regulares, promoção de eventos para a divulgação junto à sociedade sobre a temática, a reciclagem e formação de profissionais técnicos, acadêmicos para a reabilitação das pessoas com deficiência visual e manter intercâmbios nacionais e internacionais dedicados ao tema (Brasil, 1958).
1960	Decreto n.º 48.252	O presidente, renomeia a Campanha Nacional de Educação e Reabilitação dos Deficitários Visuais, instituída pelo Decreto n.º 44.236, de 1.º de agosto de 1958 para Campanha Nacional de Educação dos Cegos (CNEC) e define que a mesma será diretamente subordinada ao Ministro de Estado da Educação e Cultura (Brasil, 1960).
1973	Decreto n.º 72.425	O legislativo cria o Centro Nacional de Educação Especial (CENESP) estando subordinado ao Ministério de Educação e Cultura, tendo como finalidade a de promover, em todo o Brasil, a expansão e a melhoria dos atendimentos às PcD, possuindo autonomia administrativa e financeira para as suas ações (Brasil, 1973).
1988	Constituição Federal de 1988.	Apresenta em seu texto um reforço referente aos direitos das PcD, podemos destacar o artigo 3.º que define como objetivos fundamentais da República Federativa do Brasil a promoção do bem a todos sem qualquer tipo de discriminação, o artigo 5.º que todos somos iguais perante a lei, explícita a proibição de qualquer discriminação

		salarial e no critério de admissão do trabalhador com deficiência (artigo 7.º, inciso XXXI), a educação, o direito de todos e o dever do estado e da família, no seu artigo 205.º e o ensino será ministrado em igualdade de condições de acesso e permanência na escola, descrito em seu artigo 208.º (Brasil, 1988).
1989	Lei n.º 7.853	Atribuiu ao Ministério Público a defesa das PcD, materializando as políticas públicas que visam proporcionar maior qualidade de vida, melhor acesso à saúde, educação e ao trabalho. No seu artigo 8.º, instituiu crime o ato de discriminar à pessoa com deficiência em escolas, no ambiente do trabalho, hospitalar e até mesmo em concurso público. Este ato regulamentou a acessibilidade para as edificações públicas e particulares de acesso público e criou, no Ministério da Justiça, o Conselho Nacional de Direitos da Pessoa com Deficiência — CONADE (Brasil, 1989).
1990	Declaração de Jomtien	Na Declaração Mundial sobre Educação para Todos que ocorreu na cidade de Jomtien, Tailândia, de 5 a 9 de março de 1990, reforçou o compromisso de que a educação é para todos, mulheres e homens, de todas as idades, no mundo inteiro. Esse encontro visou mostrar a importância da educação para a conquista de um mundo mais seguro, mais sadio, mais próspero e ambientalmente mais puro, para favorecer o progresso e o entendimento entre as nações (ONU, 1990).
1990	Lei n.º 8.069 — ECA	O Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), Lei Federal n.º 8.069/90 de 13 de julho de 1990, no seu artigo 5.º definiu que nenhuma criança ou adolescente será objeto de negligência, discriminação, exploração, violência, crueldade, e opressão, punido na forma da lei qualquer atentado, por ação ou omissão, aos seus direitos fundamentais e esses direitos incluem as PcD. No artigo 11.º do ECA, que assegura o atendimento integral à saúde da criança e do adolescente, pelo sistema único de saúde, tendo o acesso universal e igualitário as ações e serviços para a promoção, proteção e recuperação da saúde e às pessoas com deficiência terão o direito ao atendimento especializado. No seu artigo 55, obriga os pais ou responsáveis a matricular seus filhos, ou pupilos, na rede regular de ensino (Brasil, 1990).
1991	Lei n.º 8.213	A Lei de cotas surgiu com a Lei Federal n.º 8.213/91 de 24 de julho de 1991, que tornou obrigatória a contratação de pessoas com deficiência por empresas que possuem 100 ou mais funcionários em seus quadros (Brasil, 1991)
1993	Lei n.º 8.742	Lei Orgânica da Assistência Social que regulamentou: • A habilitação e reabilitação das pessoas com deficiência e a promoção da sua integração a sua comunidade; • A garantia de um salário mínimo mensal em forma de benefício que comprove não possuir meios próprios para sua manutenção ou tê-la provida por sua família; e • A acessibilidade assegurada nos espaços destinados aos Centros de Referências Especializados de Assistência Social e

		nos Centros de Referências de Assistência Social (Brasil, 1993, p.1-5).
1994	Declaração de Salamanca	Apresentou padrões para nivelar as oportunidades para as pessoas com deficiência definindo que toda criança tem o direito à educação e a oportunidade de um nível adequado de aprendizado, assim como, o sistema educacional e os programas educacionais deveriam se adequar à diversidade, às características e às necessidades educacionais. Ainda menciona que as pessoas com deficiência devem ter acesso à escola regular e possuir uma pedagogia direcionada a ela, satisfazendo as suas necessidades (ONU, 1994).
1996	Circular n.º 277/MEC/GM	O Ministério da Educação encaminhou o aviso Circular n.º 277/MEC/GM de 8 de maio de 1996 a todos os reitores das instituições de ensino superior, cobrando uma política adequada educacional aos educandos com deficiência na intenção de se alcançar níveis cada vez mais altos do seu rendimento acadêmico e da importância de se promover o seu acesso e a sua permanência no ensino superior (Brasil, 1996a).
1996	Lei n.º 9.394 — LDB	A Lei que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional que define a educação básica brasileira e podemos destacar como políticas destinadas às pessoas com deficiência que o Atendimento Educacional Especializado (AEE) gratuito deve ser realizado preferencialmente na rede regular de ensino, esta iniciativa busca incluir o estudante com deficiência à sociedade escolar (Brasil, 1996b).
1999	Lei n.º 3.298	O Decreto Federal n.º 3.298/99 de 20 de dezembro de 1999 regulamenta a Lei n.º 7.853 de 24 de outubro de 1989 explicitando normas de proteção e definindo a educação especial como transversalmente a todos os níveis de ensino, dando ênfase a atuação complementar da educação especial ao ensino regular. Essa lei possui uma política bem abrangente para as pessoas com deficiência, abordando diversos temas, tais como saúde, acesso à educação, trabalho, esporte e outros (Brasil, 1999a).
1999	Portaria n.º 319	A portaria n.º 319 de 26 de fevereiro de 1999 do Ministério da Educação criou a Comissão Brasileira de Braille, subordinada à Secretaria de Educação Especial para a adoção de uma política de diretrizes e normas para o uso, o ensino, a produção e a difusão do sistema Braille em todas as modalidades de aplicação, especialmente a Língua Portuguesa, a Matemática e as outras Ciências, a Música e a Informática (Brasil, 1999b).
1999	Convenção de Guatemala	Através da Convenção da Guatemala, ocorrida em 28 de maio de 1999, foi instituída a eliminação de toda a forma de discriminação contra as PcD e o incentivo para a criação de políticas que venham integrá-las à sociedade. A convenção definiu como discriminação toda a forma de diferenciação, exclusão ou restrição dada pela sua deficiência, à limitação dos seus direitos fundamentais e os seus direitos humanos (OEA, 1999).
2000	Lei n.º 10.048	A Lei da Prioridade, Lei Federal n.º 10.048/00 de 8 de novembro de 2000, promoveu o acesso ao atendimento prioritário a todas as PcD, aos idosos, às gestantes, às lactantes, às pessoas com crianças de colo e aos obesos. Prevê também assentos prioritários nos transportes (Brasil, 2000a).

2000	Lei n.º 10.098	A Lei da Acessibilidade, Lei Federal n.º 10.098/00 de 14 de novembro de 2000, teve grande relevância sobre o tema de transposição das barreiras arquitetônicas que regulamentou não somente as edificações, mas também todo o espaço urbano, como nas vias públicas, transportes coletivos, edifícios de uso particular e públicos, sistemas de comunicação e outros (Brasil, 2000b).
2001	Resolução MEC CNE/CEB n.º 2	Definiu-se nas Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica, Resolução do Ministério da Educação CNE/CEB 2 de 11 de setembro de 2001, que a política de inclusão dos alunos que apresentam necessidades educacionais especiais na rede regular de ensino não está pautada somente a sua frequência nas aulas regulares, mas também no seu desenvolvimento educacional. No artigo 8º, inciso III, temos que as flexibilizações e as adaptações curriculares que considerem o significado prático e instrumental dos conteúdos básicos, metodologias de ensino e recursos didáticos diferenciados e processos de avaliação adequados ao desenvolvimento dos alunos que apresentam necessidades educacionais especiais, em consonância com o projeto pedagógico da escola; respeitada a frequência obrigatória; respeitando as suas diferenças e atendendo as suas necessidades. Essa política visa incluir as pessoas com deficiências no ensino regular de forma que ocorra o desenvolvimento acadêmico do mesmo (Brasil, 2001a).
2002	Lei n.º 10.436	A Lei sobre a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS), Lei n.º 10.436 de 24 de abril de 2002, provê o reconhecimento legal da comunicação e expressão da Língua Brasileira de Sinais e outros recursos de expressão a ela associados, não substituindo a Língua Portuguesa na forma escrita (Brasil, 2002b).
2002	Portaria MEC n.º 2.678	A portaria do Ministério da Educação n.º 2.678, de 24 de setembro de 2002, aprovou a grafia Braille para a Língua Portuguesa, recomendando o seu uso em todo o território nacional e em todas as formas de ensino (Brasil, 2002c).
2004	Decreto n.º 5.296	Em 2004, o Decreto Federal n.º 5.296/04 de 2 de dezembro regulamentou a Lei Federal n.º 10.048/2000, estabelecendo normas gerais para a promoção da acessibilidade das PcD e/ou com mobilidade reduzida (Brasil, 2004).
2005	Decreto n.º 5.626	No Decreto n.º 5.626 da Presidência da República de 22 de dezembro de 2005 regulamentou a Língua Brasileira de sinais e na inclusão da LIBRAS como disciplina em cursos de formação de professores para o exercício do magistério, ao nível médio e superior, e nos cursos de fonoaudiologia, de instituições de ensino, públicas e privadas, do sistema federal de ensino e dos sistemas de ensino dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, sendo uma disciplina optativa para os demais cursos superiores e na educação profissional (Brasil, 2005).
2006	Decreto n.º 5.904	Decreto n.º 5.904 de 21 de setembro de 2006 que regula o direito das pessoas com deficiência visual a frequentarem ambientes acompanhados de cão-guia em locais públicos e privados (Brasil, 2006a).
2009	Decreto n.º 6.949	Decreto n.º 6.949 de 25 de agosto de 2009 que promulgou a Convenção internacional sobre os Direitos das PcD, que foi assinada na cidade de Nova York, em 30 de março de 2007. Este Decreto garante e promove os direitos humanos e, em específico, os direitos das PcD na sua dignidade

		individual, na intenção de repudiar a discriminação e na geração de políticas que venham atender, em específico, as demandas desses cidadãos (Brasil, 2009b).
2015	LBI	Em 6 de julho de 2015 foi instituída a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), Lei n.º 13.146/15, sendo destinada a garantir e promover igualitariamente o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais às pessoas com deficiência, garantindo-lhes a sua inclusão e cidadania. A LBI qualifica as PcD que possuem impedimentos de longo prazo, de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, que em interações com barreiras, podem limitar a sua plena e efetiva participação na sociedade em igualdade de condições em comparação com as outras pessoas. A LBI define que a PcD deve ser tratada como pessoa humana, conforme as suas reais condições, sendo um concreto avanço para as PcD e na sua inclusão junto à sociedade, ao mudar o conceito de deficiência que deixa de ser uma característica da pessoa e vista como a falta de acessibilidade da sociedade na sua totalidade, isto é, a deficiência está no meio e não na pessoa. Para a aplicação dessa Lei, foi considerada a acessibilidade como a possibilidade e condições para que às PcD possam utilizar, com segurança e autonomia, espaços, equipamentos urbanos, edifícios, transportes, informação e comunicação, já o desenho universal como criação de produtos, ambientes, programas e serviços a serem utilizados por todos e a Tecnologia Assistiva (TA) como produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas, serviços que venham promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à inclusão da PcD ou com mobilidade reduzida, visando a sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. Por meio da LBI foi assegurada a proibição de qualquer cobrança adicional para os alunos com deficiência, a adoção de práticas pedagógicas inclusivas realizadas pelos programas de formação inicial e continuada de professores e a oferta de formação continuada para os profissionais de atendimento educacional especializado, a garantia de acesso das pessoas com deficiência aos sistemas educacionais no sentido de manter a sua permanência, participação e aprendizagem, dado por serviços e recursos de acessibilidade que ultrapassem as barreiras e promovam a inclusão plena, e a oferta de profissionais de apoio escolar (Brasil, 2015).
2015	ABNT NBR 9050:2015	Na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR), ABNT NBR 9050:2015 de 11 de outubro de 2015, prevê a acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, estabelecendo critérios e parâmetros a serem observados no projeto, na construção, na instalação e nas adaptações (ABNT, 2016a).
2016	ABNT NBR 16.537:2016	A ABNT NBR 16.537:2016, de junho de 2016, estabelece os padrões para a devida sinalização de piso tátil na elaboração de projetos e na sua instalação (ABNT, 2016b).

Fonte: Adaptado de Silva Junior (2018).

Complementando a pesquisa realizada por Silva Junior (2018), acrescentamos no Quadro 2 alguns dos mais importantes eventos legislativos ocorridos no Brasil, assim como algumas políticas públicas, também consideradas relevantes e mais atuais.

Quadro 2 – Políticas Públicas destinadas às PcD — II.

Ano	Lei	Resumo
2001	Lei n.º 10.172 — PNE Referência 2001–2011	Aprova o Plano Nacional de Educação (PNE) com duração de dez anos. Objetivos: Garante o ensino fundamental obrigatório de oito anos a todas as crianças de 7 a 14 anos, assegurando o seu ingresso e permanência na escola e a conclusão. A integração das PcD na rede regular de ensino no ensino médio, a qualificação dos docentes e a adaptação das escolas e na necessidade de atendimento especial, a busca pela flexibilidade e pela diversidade e outros aspectos (Brasil, 2001b).
2002	Resolução MEC/CNE/CP n.º 1	Prevê as diretrizes curriculares nacionais para a formação de professores da educação básica, ao nível superior, em licenciaturas e na graduação plena. Na educação inclusiva, define-se que a formação deve incluir os conhecimentos sobre as PcD e as suas especificidades com as suas necessidades educacionais especiais (Brasil, 2002a).
2006	Plano Nacional de Educação em Direitos Humanos	Incentiva a inclusão de temas que dizem respeito às PcD nos currículos escolares (Brasil, 2006b).
2007	Decreto n.º 6.094	Implementa o Plano de Metas e o compromisso de todos pela educação, destacando o AEE e reforça a inclusão das PcD no sistema público educacional (Brasil, 2007a).
2007	Plano de Desenvolvimento da Educação — PDE	O PDE trabalha a questão da infraestrutura escolar e permite, também, avaliar o nível de acessibilidade das escolas, da formação docente e das salas de recursos multifuncionais (Brasil, 2007b).
2008	Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva	Define as políticas públicas promotoras de uma Educação de qualidade para todos os alunos (Brasil, 2008a).
2008	Decreto n.º 6.571	Define o AEE na educação básica com os recursos, as atividades e os recursos pedagógicos que possam complementar ou até suplementar a formação das PcD no ensino regular (Brasil, 2008b).
2009	Resolução MEC/CNE/CEB n.º 4	Orienta o Atendimento Educacional Especializado — AEE na educação básica, devendo ser realizado no contra turno e nas salas de recursos multifuncionais das escolas regulares em cumprimento do Decreto n.º 6.571 (Brasil, 2009a).
2011	Decreto n.º 7.480	Antes a educação especial era responsabilidade da Secretaria de Educação Especial (Seesp). Após o Decreto, passou a ser vinculada à Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão (Secadi) (Brasil, 2011a).
2011	Decreto n.º 7.611	Estabelece novas diretrizes do dever do Estado com a educação especial. Determina que o sistema

		educacional seja inclusivo em todos os níveis. Impede a exclusão no sistema educacional em relação às deficiências (Brasil, 2011b).
2012	Lei n.º 12.764	Lei que institui a Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista (Brasil, 2012).
2013	Tratado de Marraquexe	Facilita o acesso a obras publicadas às pessoas com deficiência visual ou com qualquer barreira que dificulte o acesso aos textos impressos (WIPO, 2013).
2014	Plano Nacional de Educação-PNE	No PNE a meta 4 é a pauta inclusiva. “Universalizar, para a população de 4 a 17 anos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação, o acesso à educação básica e ao atendimento educacional especializado, preferencialmente na rede regular de ensino, com a garantia de sistema educacional inclusivo, de salas de recursos multifuncionais, classes, escolas ou serviços especializados, públicos ou conveniados”. O termo, preferencialmente, ainda permite que as PcD possam ser matriculadas em escolas especiais (Brasil, 2014).
2015	Declaração de Incheon	Fórum Internacional de Incheon, na Coreia do Sul, que visou o comprometimento numa agenda pela educação inclusiva, incluindo a educação superior (UNESCO, 2015).
2015	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável — ONU	Esse documento da UNESCO, produto da Declaração de Incheon, formalizou 17 objetivos a serem implementados até 2030. No 4.º objetivo, propõe assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos (ONU, 2015).
2019	Decreto n.º 9.465	Cria a Secretaria de Modalidades Especializadas de Educação, extinguindo a Secadi, possuindo 3 pastas: Diretoria de Acessibilidade, Mobilidade, Inclusão e Apoio as PcD, Diretoria de Políticas Públicas de Educação Bilíngue de Surdos, e Diretoria de Políticas Públicas para Modalidades Especializadas de Educação e Tradições Culturais Brasileiras (Brasil, 2019).
2020	Decreto n.º 10.502	Institui a Política Nacional de Educação Especial: Equitativa, Inclusiva e com Aprendizado ao Longo da Vida (Brasil, 2020). Revogado em 2023. Política de 2008.
2020	ABNT NBR 9050	Atualização da ABNT que orienta a acessibilidade das edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (ABNT, 2020).
2022	ABNT/NBR 17060	Estabelece os requisitos de acessibilidade em aplicativos de dispositivos móveis baseados no desempenho funcional, entre outros (ABNT, 2022)
2023	Lei 14.624	Lei 14.624, de 17 de julho de 2023. Garante atendimento priorizado, com o uso do cordão de fita com desenhos de girassóis, às pessoas com deficiências ocultas (Brasil, 2023a).
2023	Lei 14.626	Prever atendimento prioritário às pessoas com transtorno do espectro autista ou com mobilidade reduzida e a doadores de sangue e reserva de assento em veículos de empresas públicas de

		transporte e de concessionárias de transporte coletivo nos dois primeiros casos (Brasil, 2023b).
2024	ABNT/NBR 16537	Acessibilidade — sinalização tátil no piso. A norma estabelece as diretrizes para elaboração de projetos e instalações (ABNT, 2024).
2025	ABNT/NBR 17225	Acessibilidade digital, na Prática, desafios e soluções para a inclusão online, estabelece diretrizes para acessibilidade na web, em sites, aplicativos e conteúdos digitais (ABNT, 2025).

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Por intermédio desse histórico legislativo brasileiro, concluímos que a visão de sociedade inclusiva passou por um processo de amadurecimento no sentido de abandonar a fase da exclusão total das pessoas com deficiência.

Acompanhamos as fases descritas por Vivarta (2003) por meio das políticas públicas que marcaram essa passagem da exclusão para a segregação e da integração para as tentativas de promoção de uma inclusão social plena que, na prática, ainda é um processo em constante transformação social.

Conforme defendido por Vivarta (2003), assim como as evoluções legislativas apresentadas, a sociedade brasileira construiu dispositivos legais de segregação social idealizados a partir do século XIX, que foram colocados em prática até 1940. Já na década de 1980, as políticas apresentaram evoluções sociais de características mais integrativas que se consolidaram com mais força na construção constitucional de 1988.

As políticas com posicionamento social mais inclusivo se consolidaram com mais intensidade por meio da Lei Brasileira de Inclusão (LBI), em 2015, e suas aplicações são notórias até os dias atuais. Este marco legal permitiu a construção de políticas públicas mais inclusivas.

Diante de numerosos dispositivos legais que garantem às PcD o direito de participarem do processo de construção de uma sociedade mais inclusiva, a pesquisa visa se apropriar de tais dispositivos, para conhecer as especificidades das pessoas com deficiência visual e na garantia de seus direitos legais.

Para elaborarmos o conceito da Modelagem Computacional Tátil (MCT), consideramos primordial a garantia de que as pessoas com deficiência visual participem desse processo de construção, pois somente assim, acreditamos que a modelagem possa, de fato, atendê-los em suas expectativas e em suas demandas educacionais e funcionais.

3.2 As especificidades das pessoas com deficiência visual

A legislação brasileira apresenta uma classificação técnica que consiste no Decreto n.º 3.298, de 20 de dezembro de 1999, diferenciando a visão normal da cegueira e da baixa visão. O Art. 4º, inciso III, regula a:

III — deficiência visual — Cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60º; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores (Brasil, 1999a, Art. 4º Inciso III).

Segundo o Conselho Brasileiro de Oftalmologia (CBO), informado por Taleb e colaboradores (2012, p. 10), a classificação da acuidade visual (AV) foi dividida em categorias mais específicas do que a lei brasileira (Figura 2).

Figura 2 – Acuidade Visual.

	Categoria	Pior que:	Igual ou melhor que:
Melhor correção óptica	0 - Visão Normal a Baixa Visão Leve	-	20/70 ou 0,3
	1 - Baixa Visão Moderada	20/70 ou 0,3	20/200 ou 0,1
	2 - Baixa Visão Severa	20/200 ou 0,1	20/400 ou 0,05
	3 - Cegueira	20/400 ou 0,05	20/1200 ou 0,02
	4 - Cegueira	20/1200 ou 0,02	Percepção de luz
	5 - Cegueira	Sem Percepção de luz	
	9	Indeterminado	

Fonte: Adaptado de Taleb e colaboradores (2012, p. 10).

Corrêa e colaboradores (2015, p.204) definem que a Acuidade Visual (AV), utilizada para o diagnóstico da baixa visão, é:

[...] feita com o auxílio de tabelas existentes de diversos tipos (Snellen, LEA symbols, ETDRS, dentre outras). Consiste na identificação de figuras ou letras (optotipos), em sequência do maior para o menor tamanho, com distância padronizada entre a pessoa em exame e uma tabela de optotipos fixada em um suporte ou parede (Corrêa *et al.*, 2015, p. 204).

Assim como as especificidades da Deficiência Visual (DV) foram abordadas por Figueiredo (2017) quando as define pela incapacidade de enxergar ou de ver bem, limitando ou impedindo os afazeres diários, tais como: orientação e mobilidade, habilidades manuais, aquisição de conceitos e a domínio da palavra escrita (Figueiredo, 2017, p. 35).

O autor se aprofunda quando afirma que a estimulação dessas pessoas para a obtenção do seu desenvolvimento natural deve partir por meio de estratégias, dos familiares e dos profissionais que atuam no meio educacional. São eles que minimizam os impactos causados pela falta ou pouca visão desse indivíduo. (Figueiredo, 2017, p. 35).

A classificação das especificidades da deficiência visual baseada na acuidade visual é medida em um ou ambos os olhos. As categorias podem incluir:

- a. **Visão normal:** acuidade visual normal, sem limitações significativas de visão.
- b. **Baixa visão:** acuidade visual reduzida, que pode variar de leve a severa. Pessoas com baixa visão, geralmente, realizam tarefas, como leitura ampliada ou uso de lentes de aumento.
- c. **Cegueira parcial:** visão muito limitada, com percepção de luz, formas ou vultos.
- d. **Cegueira total:** ausência completa de percepção visual.

A população com deficiência visual tem aumentado e demanda serviços que atendam às suas necessidades de reabilitação e educação. No entanto, as avaliações clínicas tradicionais não determinam, de forma prática e funcional, como essa visão residual será efetivamente utilizada por esses indivíduos em seu cotidiano (Corn, A. L e Erin, N. J., 2010).

Na prática, as pessoas de baixa visão aprendem a utilizar o sentido da visão por meio de fatores visuais, psicossociais, cognitivos e experienciais, assim, esse desenvolvimento necessita de uma coordenação de abordagem por meio de equipes (Corn, A. L. e Erin, N. J., 2010).

A função visual em sua eficiência, pode ser dividida em três subclassificações: **A primeira** é que a pessoa desenvolva a capacidade de contornar o uso da visão, utilizando, por exemplo, recursos de Tecnologia

Assistiva (TA), como o Braille e os textos gravados. **A segunda** seria o uso de TA em casos de baixa visão, por exemplo, (ópticos, não ópticos e eletrônicos) modificando e ampliando as imagens reais. **A terceira** seria a pessoa aprender a utilizar a sua visão, conforme o ambiente e com o uso da sua visão funcional. Um exemplo seria a busca de um melhor ângulo de visão no movimento do seu corpo em relação à imagem ou a um objeto. Cada uma dessas estratégias será descoberta pelo próprio indivíduo ao longo das suas experiências (Corn, A. L. e Erin, N. J., 2010).

A **visão funcional** é definida como um potencial a ser descoberto e estimulado por cada indivíduo, podendo ser melhor utilizado ou não na execução de uma determinada tarefa. Com a estimulação precoce, o próprio indivíduo descobrirá quais seriam os potenciais funcionais existentes na sua visão.

O termo **eficiência visual**, também abordado pelas autoras, consiste não no uso da visão como uma pessoa de visão normal utiliza, mas sim no quanto a pessoa com deficiência visual consegue utilizá-la na realização das suas tarefas (Corn e Erin, 2010).

Na prática, esta estratégia é tão natural que duas pessoas, podem possuir a mesma avaliação clínica de acuidade visual, por exemplo, de 20/100 e um campo de visão de 30 graus, mas utilizarem a visão de forma bem diferentes, pode ser que uma seja mais rápida do que a outra em identificar os objetos, uma possa se sentir mais confortável em lidar com determinadas tarefas visuais do que a outra e até mesmo uma pessoa pode se sentir mais ou menos confortável em frequentarem ambientes públicos, diferentemente, dos seus ambientes familiares. As autoras defendem que todo **esse processo deve ser estimulado da forma mais precoce possível** para que esses recursos sejam conhecidos e aprimorados, facilitando a vida dessas pessoas (Corn e Erin, 2010).

As autoras apontam que não existe uma mesma estratégia correta para todos os indivíduos em relação à deficiência visual, o que se deve é proporcionar às crianças e até mesmo aos adultos a oportunidade de se desenvolverem, visualmente, o que deve ser o dever e o objetivo dos profissionais de educação e de reabilitação. Os estímulos permitem desenvolver habilidades visuais, cognitivas, de personalidade, de autoestima e a expectativa de si e dos envolvidos, o que pode ser uma tarefa muito estressante e deve-se respeitar a

escolha de cada um dos indivíduos com o que lhe for mais fácil e confortável para o seu uso (Corn e Erin, 2010).

Corn (1983) apresenta os componentes das três dimensões como fatores importantes que explicam como os indivíduos fazem o uso da visão, como sendo: habilidades visuais, sinais ambientais e individualidade, conforme ilustrado na Figura 3.

Barraga (1963) defende a teoria de que as crianças de baixa visão desenvolvem as suas habilidades visuais, Figura 3, utilizando, de uma forma geral, as mesmas técnicas utilizadas pelas crianças de visão saudável, mas a um ritmo diferente, essa técnica já não se aplica a um adulto que perdeu a visão ao longo da vida, assim, procura-se explicar como ocorre o desenvolvimento óptico/visual das crianças.

Figura 3 – Modelo Funcional da Visão de Corn.

Habilidades Visuais	Acuidade	Sinais Ambientais	Cores	Armazenamento Individual	Cognição
	Campo Visual		Contraste		Integração do Desenvolvimento Sensorial
	Motilidade		Tempo		Percepção
	Funções Cerebrais		Espaço		Maquiagem Psicológica
	Recepção de luz e cores		Iluminação		Maquiagem Física

Fonte: Adaptado de Corn (1989).

Aponta-se outra teoria de que as crianças de baixa visão aplicam outros componentes internos, armazenamento individual disponível, Figura 3, para o desenvolvimento da experiência visual com os sinais ambientais, Figura 3, esse conjunto, apoiam a visão funcional, quando somadas, também, com as habilidades visuais, Figura 3, de acordo com esse modelo todos os componentes devem existir, mesmo que de uma forma mínima, para ocorrer o desenvolvimento da visão funcional (Corn e Erin, 2010).

Na Figura 3, as habilidades visuais são compostas por todas as características que compõem o sistema da visão, que pode ser mensurado pela acuidade, pelo campo visual, pela motilidade visual, pelas funções cerebrais que compõem a visão e pela capacidade de se perceber a luz e as cores.

Os sinais ambientais são compostos pelas cores dos ambientes, objetos, etc., pelo contraste, tempo, espaço e iluminação dos ambientes.

O armazenamento individual disponível é composto pela experiência de vivência do indivíduo, tais como: a sua cognição, integração do desenvolvimento sensorial, percepção, maquiagem psicológica e maquiagem física.

Todos esses fatores, segundo Corn e Erin, são fundamentais para os indivíduos desenvolverem a visão funcional e aplicá-las nas suas tarefas diárias.

Segundo os pesquisadores citados, inferimos que a classificação mais produtiva para a avaliação das pessoas com deficiência visual no âmbito educacional e no processo de reabilitação é a classificação funcional. Essa classificação considera não somente a avaliação clínica, mas a capacidade de realizar tarefas específicas com ou sem auxílios visuais e podemos classificá-las da seguinte forma, conforme as pesquisas dos autores já relacionadas:

a. **Visão normal:** capacidade do uso total da visão para a realização de tarefas visuais sem restrições significativas.

b. **Baixa visão funcional:** capacidade de uso limitado da visão para tarefas específicas, mesmo com a melhor correção óptica disponível.

c. **Cegueira funcional:** Incapacidade do uso da visão para a maioria das tarefas, com a dependência de outros sentidos ou Tecnologias Assistiva para realizar as atividades diárias.

d. **Cegueira total:** ausência total de visão e dependência exclusiva de outros sentidos, tecnologia assistiva e técnicas não visuais para realizar tarefas.

Além de todos os conceitos abordados, destacamos a classificação funcional e educacional defendida por Bruno e Mota (2001), que os indivíduos de mesmo grau de acuidade visual apresentam um desempenho visual diferente, pois o aproveitamento da visão residual é diferenciado.

Bruno e Mota (2001) aponta que na baixa visão os níveis são bem variados que vão desde projeções de luz até o parâmetro na qual a acuidade limita o desempenho educacional do aluno, assim, a sua evolução educacional será, basicamente, por meios visuais, mesmo com a utilização de tecnologias assistivas que ajudem nesse processo.

Segundo Bruno e Mota (2001), em se tratando de alunos cegos que apresentam a perda total da visão até a perda da projeção da luz, o processo de aprendizagem terá como estratégias educacionais, a utilização dos sentidos

remanescentes (tato, audição, olfato e paladar), em conjunto com a escrita em Braille, como sistema de comunicação escrita.

Bruno e Mota (2001) defendem, assim como Lindsted (1993), a testagem funcional e educacional dos alunos de baixa visão, independentemente da avaliação clínica e de forma que o aluno possa aproveitar ao máximo o seu potencial residual de sua visão, utilizando o método Bust (Figura 4).

Figura 4 – A Classificação Funcional — Método Bust.

Classificação Funcional	
Visão de Perto:	
I – Nível 1 – A.v. – 0,01 – 0,05	III – Nível 3 – A.v. – 0,1 a 0,3
1. reconhece faces a 0,5m, 1,0m, 2,0m;	14. letras grandes – Bust – N° 8 – 9 a 25cm;
2. reconhece brinquedos grandes; bola, boneca a 15cm;	15. trabalho de agulha.
3. reconhece a colher e garfo – objeto do Bust;	IV – nível 4 – A.v. + 0,3;
4. reconhece peças de roupa.	16. figura muito pequena – Bust – N° 6 – 9 a 25cm;
II – Nível 2 – A.v. – 0,05 – 0,1	17. letras pequenas – Bust – N° 6 – 9 a 40cm.
5. brinquedos – correspondente Bust N° 1 – 3 a 25cm;	
6. bola de gude;	
7. uvas passas – correspondendo Bust N° 4 – 5 a 25cm;	
8. lego pequeno;	
9. pera Indiana;	
10. jogos de números – baralho;	
11. baralho de figuras cômicas;	
12. quebra-cabeça fácil c/ peças grandes;	
13. figuras pequenas – Bust – N° 5 – 7 a 25cm.	

Fonte: Adaptado de Lindsted (1993).

Conforme a Figura 4, a classificação funcional permite avaliar o aluno com deficiência visual em proximidade com a sua realidade prática, pois se utiliza de estratégias vivenciadas nas suas atividades diárias.

Sendo assim, as autoras apontam que a avaliação funcional é uma observação do desempenho visual do discente nas suas atividades diárias numa análise voltada para a sua orientação e locomoção ao longo do espaço, como se alimenta, brinca, inclusive como ele utiliza a sua visão em atividades escolares e práticas.

Nessa abordagem, as autoras apontam que os resultados serão o nível de desenvolvimento de visão desse aluno; o uso da visão residual nas suas atividades; a necessidade da adaptação à luz e aos contrastes e a adaptação de recursos ópticos, não-ópticos e equipamentos de tecnologias avançadas.

A solução para qualquer questão parte do processo de conhecê-la com a devida profundidade, permitindo o desenvolvimento da sua solução ou nem que seja, num primeiro momento, o desenvolvimento de estratégias que contribuam

para as pessoas terem êxito em vencerem as suas barreiras sensoriais em cada uma das suas especificidades.

A DV, ainda, possui diversas outras especificidades e cada uma delas impõe barreiras específicas para aqueles que possuem essas limitações sensoriais. Brasil (2006a) nos relata que a pessoa cega congênita (desde o nascimento) não possui imagens sobre o mundo ao seu redor e o contato com o mesmo será por intermédio dos outros sentidos que ela possui. Essa experiência de mundo será bem diferente dos demais, pois essa representação será composta por uma linguagem cujos signos não coincidirão com as suas vivências pessoais.

Já no caso da perda da visão após a experiência de vida (cegueira adventícia), Brasil (2006a) aponta que a pessoa alfabetizada por materiais impressos, por exemplo, a bagagem visual funciona como uma base para a continuidade do processo educacional apesar da perda da visão acarretar consequências emocionais e pedagógicas.

Nessa fase inicial, existe o luto da não aceitação da deficiência, levando o discente a oferecer algumas resistências na utilização dos recursos que o auxiliem a vencer as suas limitações sensoriais.

O discente no processo de ensino e aprendizagem obtém um maior ganho quando os seus sentidos são estimulados desde cedo e com o desenvolvimento de uma determinada tarefa.

Os conteúdos acadêmicos trabalhados pelos docentes, para o ensino das pessoas com DV, muitas das vezes são focados nos meios sensoriais, dando mais ênfase ao tato e à audição. A estimulação dos sentidos é facilitada ao ter acesso à utilização de tecnologia assistiva adequada a essa estimulação.

A deficiência visual pode ser classificada em diferentes contextos, podendo abordar uma análise mais voltada para a reabilitação da pessoa com deficiência visual, para uma questão legal, funcional e até educacional.

Para cada pessoa com deficiência visual, os desafios enfrentados são de ordens específicas, pois cada indivíduo apresentará diferentes dificuldades frente às barreiras impostas em seu nível e capacidade de ver ou enxergar. Esses fatores devem ser explorados, indo além das especificidades nas quais a deficiência visual, geralmente, possa ser classificada.

Consideramos a aplicação da classificação da visão funcional no desenvolvimento da Modelagem Computacional Tátil (MCT), no intuito de mantermos um esforço contínuo na construção e no aprimoramento das funcionalidades computacionais, diretamente proporcionais às habilidades funcionais e sensoriais das pessoas com deficiência visual em contribuição para atingirmos os objetivos propostos a cada uma das interfaces criadas (mapas táteis), especificamente, para serem utilizadas com o MCT em apoio ao ensino desses educandos.

3.3 Os sentidos no ensino-aprendizagem das pessoas DV

Destacamos a importância da classificação funcional das pessoas com deficiência visual, bem como a valorização do estímulo contínuo dos sentidos remanescentes, sendo estimulada o mais precoce possível, assim, observamos uma melhora significativa na qualidade de vida, na autonomia e no desempenho acadêmico dessas pessoas.

Assim como Goldschmidt e colaboradores (2008), afirmam que o mundo nos é compreendido por meio dos sentidos e o processo de aprendizagem do discente é muito facilitado quando são empregadas estratégias educacionais que permitam a união de diversos sentidos estimulados nesse processo.

Para Grossi (2018), a aprendizagem está relacionada ao cérebro e aos estímulos nos quais ele recebe e processa.

A autora caracteriza a neurociência como um estudo das capacidades mentais mais complexas, como a aprendizagem, a linguagem, a memória e o planejamento numa relação sobre os processos individuais de aprendizagem associados aos conceitos de sinapses, de plasticidade e dos lobos cerebrais.

Relvas (2012) nos aponta a importância da neurociência como um diálogo entre os mais vastos campos do conhecimento relacionados às funções cerebrais e mentais do corpo com o processo de ensino e aprendizagem.

Segundo Morin (2014, 2015) o modo em que nos comportamos no ambiente decorre, também, do que é compreendido nos espaços escolares por meio das aprendizagens forjadas sob os propósitos racionais, podendo nos fazer pensar que esses comportamentos são imodificáveis, mas Consenza; Guerra, (2011), explica que somos capazes de nos reorganizarmos e reformularmos as

sinapses neurais para gerar novos aprendizados, adquirindo novos comportamentos, sejam eles: psicomotores, atitudinais, conceituais, que modificam diversas áreas do cérebro, trata-se da neuroplasticidade.

Assim, Consenza; Guerra (2011) e Relvas (2012) caracterizam a aprendizagem como uma atividade não espontânea, mas motivada por sentidos externos relacionados aos ambientes em que interagimos, em relação à comunidade na qual nos inserimos, a cultura da qual temos acesso e aos espaços sociais, inclusive ao espaço escolar que fazemos parte.

Segundo Fonseca (2018), as operações mentais e os estímulos captados do ambiente fazem parte do processo de aprendizagem que é produto da ação pedagógica, dos elementos culturais, da interação entre as pessoas, fazendo do ato de aprender uma ação social e ambiental, resultante no socioambiental.

Este processo passa a ser um dos componentes da evolução humana que passou a dominar a capacidade da plasticidade que, conforme Consenza e Guerra (2011), é a “capacidade de fazer e desfazer ligações entre os neurônios como consequência das interações constantes com o ambiente externo e interno do corpo” (p. 36).

Nos primeiros anos de vida, estamos muito mais propícios ao aprendizado, por meio da capacidade muito mais aflorada para o desenvolvimento da plasticidade neural (Fóz, 2009).

“A neuroplasticidade elevada torna o cérebro jovem extremamente sensível aos estímulos ambientais, de modo que as experiências iniciais podem ter efeitos ao longo da vida nos circuitos e comportamento” (Gee *et. al.*, 2018, p. 9437).

Fóz (2009) e Gee *et al.* (2018) defendem a importância da estimulação precoce como uma importante estratégia para que as pessoas com deficiência visual desenvolvam a sua autonomia e, consecutivamente, aumente a sua qualidade de vida, além de ser municiado de técnicas visuais ou sensoriais na utilização, principalmente, do tato e da audição na promoção de um aproveitamento acadêmico mais elevado.

A psicologia cognitiva da DV defende teorias de que as pessoas com a visão comprometida apresentam os sentidos do tato e da audição mais desenvolvidos do que as pessoas que possuem as funcionalidades de uma visão saudável (Kastrup, 2007).

A autora faz referência à Neuroplasticidade, Relvas (2008) define-a como a capacidade de adaptação do sistema nervoso central em modificar a sua forma de funcionamento e de estrutura. Esta transformação ocorre ao longo da vida com a aprendizagem e a reabilitação das atividades motoras/sensoriais (Relvas, 2008).

Conforme a pesquisa apresentada por Silva Junior (2018), os participantes com deficiência visual que utilizaram o mapa tátil que uniu os sentidos do tato e da audição de forma simultânea aos conteúdos acadêmicos obtiveram um aumento na qualidade do ensino por permitir às pessoas com deficiência visual absorverem um conteúdo mais extenso por meio da sua divisão em pequenos trechos relacionados aos 43 sensores táteis distribuídos por esse mapa tátil.

A autonomia foi comprovada, na pesquisa, pois o material desenvolvido permitiu ao aluno a repetição de interações com os sensores táteis ao número que forem necessários para o domínio do tema sem o auxílio constante do docente.

A pesquisa demonstrou que os sentidos remanescentes, do tato e da audição, são estimulados ao ponto de compensarem a perda da visão. Os alunos aprenderam, também, a interpretar as informações táteis com mais precisão, lerem o Braille, e com isso, se tornam mais sensíveis aos sons sutis ou alterações ocorridas no ambiente ao seu redor.

No entanto, é importante reconhecer o valor desses sentidos remanescentes, por desempenharem um papel crucial na adaptação e na capacidade de interação e percepção do ambiente para pessoas com deficiências sensoriais, inclusive as pessoas com deficiência visual.

Num modelo de ensino-aprendizagem inclusivo a TA é utilizada como recurso para apoiar na transposição das barreiras sensoriais, pois, assim, o discente com DV consegue dominar o conhecimento com mais facilidade ao ter acesso às estratégias que relacionem os estímulos sensoriais com os conteúdos a ele apresentados em sala de aula, principalmente se os sentidos do tato e da audição são estimulados, precocemente, no caso da DV.

Na Modelagem Computacional Tátil (MCT) desenvolvida, valorizamos os sentidos remanescentes dos alunos com deficiência visual em uma abordagem mais funcional possível e, principalmente, na falta dessa visão remanescentes,

será de grande importância, para o modelo, explorar os sentidos do tato e da audição orquestrados, simultaneamente, aos conteúdos acadêmicos no intuito de promover a autonomia e a qualidade e em apoiar o ensino e a aprendizagem desses educandos.

3.4 As tecnologias assistivas no ensino das pessoas DV

Sartoretto e Berch (2025, p.1) definem “o termo *Assistive Technology*, traduzido no Brasil como tecnologia assistiva, sendo criado em 1988 como importante elemento jurídico na legislação norte-americana conhecida como *Public Law 100–407* e renovado em 1998”, tendo seu termo atualizado para “*Assistive Technology Act* de 1998 (P.L. 105–394, S.2432)”.

Segundo a *American with Disabilities Act* (ADA), as Tecnologias Assistivas são caracterizadas como:

Todo e qualquer item, equipamento ou parte dele, produto ou sistema fabricado em série ou sob medida utilizado para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais das pessoas com deficiência. Serviços são definidos como aqueles que auxiliam diretamente uma pessoa com deficiência a selecionar, comprar ou usar os recursos acima definidos (ADA — *American with Disabilities Act*, 2010).

A tecnologia assistiva, também nos é definida por Cook e Hussey (1995, p. 5) como “uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiência”, os autores mesmo que em termos distintos, conceituam a TA como todo e qualquer recursos que promovam um auxílio à pessoa com deficiência em suas atividades das mais variadas e em diversas situações cotidianas.

Em dezembro de 2007, ocorreu no Brasil a VII reunião do Comitê de Ajudas Técnicas — CAT, conceituando a tecnologia assistiva como:

[...] uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua

autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.
[...] (Brasil, 2007c).

No Brasil, a Lei Brasileira de Inclusão (LBI) cita a TA como:

[...] produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2015, Art. 3º Inciso III).

Bersch (2025, p.4) classifica as tecnologias assistivas por meio de categorias quando afirma que elas são recursos de “finalidade didática e em cada tópico considera a existência de recursos e serviços”. Segundo a autora cada categoria:

[...] se dá pela promoção da organização desta área de conhecimento e servirá ao estudo, pesquisa, desenvolvimento, promoção de políticas públicas, organização de serviços, catalogação e formação de banco de dados para identificação dos recursos mais apropriados ao atendimento de uma necessidade funcional do usuário final (Bersch, 2025 p. 4).

A autora cita algumas categorias, conforme o Quadro 3 – Categorias das Tecnologias Assistivas.

Quadro 3 – Categorias das Tecnologias Assistivas.

Categoria	Exemplos
Auxílios para a vida diária.	Materiais e produtos para o auxílio em tarefas rotineiras tais como comer, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais, manutenção da casa, etc.
CAA — Comunicação aumentativa alternativa e	Recursos, eletrônicos ou não, que permitem a comunicação expressiva e receptiva das pessoas sem a fala ou com limitações da mesma. São muito utilizadas as pranchas de comunicação com os símbolos ARASAAC, SymbolStix, Widgit, PCS ou Bliss além de vocalizadores e softwares dedicados para este fim.
Recursos de acessibilidade ao computador	Equipamentos de entrada e saída (síntese de voz, Braille), auxílios alternativos de acesso (ponteiras de cabeça, de luz), teclados modificados ou alternativos, acionadores, softwares dedicados (síntese e reconhecimento de voz, etc.), que permitem as pessoas com deficiência acessarem com sucesso o computador.
Sistemas de controle de ambiente	Sistemas eletrônicos que permitem as pessoas com limitações motolocomotoras, controlar remotamente aparelhos eletrônicos, sistemas de abertura de portas, janelas, cortinas e afins, de segurança, entre outros, localizados nos ambientes doméstico e profissional.
Projetos arquitetônicos para acessibilidade	Adaptações estruturais e reformas na casa e/ou ambiente de trabalho, por meio de rampas, elevadores, adaptações em banheiros, entre outras, que retiram ou reduzem as barreiras físicas, facilitando a locomoção e o uso dessas áreas pela pessoa com deficiência.

Órteses e próteses	Troca ou ajuste de partes do corpo, faltantes ou de funcionamento comprometido, por membros artificiais ou outros recursos ortopédicos (talas, apoios, etc.). Incluem-se os protéticos para auxiliar nos déficits ou limitações cognitivas, como os gravadores de fita magnética ou digital que funcionam como lembretes instantâneos.
Adequação Postural	Adaptações para cadeira de rodas ou outro sistema de sentar visando o conforto e distribuição adequada da pressão na superfície da pele (almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos), bem como posicionadores e contentores que propiciam maior estabilidade e postura adequada do corpo através do suporte e posicionamento de tronco/cabeça/membros.
Auxílios de mobilidades	Cadeiras de rodas manuais e motorizadas, bases móveis, andadores, scooter e qualquer outro veículo utilizado na melhoria da mobilidade pessoal.
Auxílios para pessoas com deficiência visual	Recursos que incluem lupas e lentes, Braille para equipamentos com síntese de voz, grandes telas de impressão, sistema de TV com aumento para leitura de documentos, impressoras de pontos Braille e de relevo para publicações, etc. Incluem-se os animais adestrados para acompanhamento das pessoas no seu dia-a-dia.
Auxílios para pessoas com deficiência auditiva	Auxílios que incluem vários equipamentos (infravermelho, FM), aparelhos para surdez, telefones com teclado — teletipo (TTY), sistemas com alerta tátil-visual, campainhas luminosas entre outros.
Adaptações em veículos	Acessórios e adaptações veiculares que possibilitam o acesso e a condução do veículo, como arranjo de pedais, acessórios para guidão, rampas e elevadores para cadeiras de rodas, em ônibus, camionetas e outros veículos automotores modificados para uso de transporte pessoal.

Fonte: Adaptado de Bersch (2025, p. 5-10).

Constatamos que toda TA busca aumentar a funcionalidade das pessoas com deficiência em atividades relacionadas às realizações de suas atividades diárias de uma forma geral.

Além das leis que utilizaram a tecnologia assistia como referência base, o Brasil avançou em suas políticas ao definir o Plano Nacional de tecnologia assistiva que foi estabelecido pelo decreto n.º 10.645/2021 que apresentou as seguintes diretrizes:

I. eliminação, redução ou superação de barreiras à inclusão social por meio do acesso e do uso da tecnologia assistiva; II. fomento à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação para a criação e implementação de produtos, de dispositivos, de metodologias, de serviços e de práticas de tecnologia assistiva; III. Fomento ao empreendedorismo, à indústria nacional e às cadeias produtivas na área de tecnologia assistiva; IV. promoção da inserção da tecnologia assistiva no campo do trabalho, da educação, do cuidado e da proteção social; e V. priorização de ações voltadas ao desenvolvimento da autonomia e da independência individuais (Brasil, 2021).

O Plano Nacional de tecnologia assistiva prevê diversos incentivos e facilitadores para a inovação, o desenvolvimento e a implantação de tecnologia assistiva no Brasil, essas ações foram voltadas para o aumento da qualidade de vida por meio do acesso a essas tecnologias pelas pessoas com deficiência.

As pessoas com deficiência visual, se beneficiam das estimulações geradas pela utilização dos mapas táteis em seus estudos, pois segundo Almeida (2010), os mapas táteis são recursos de transformação de mapas convencionais, impressos à tinta, em mapas com alto-relevo, que proporcionam aos discentes com deficiência visual o acesso à informação acerca do objeto temático de estudo.

As pesquisadoras Sá; Campos; Silva (2007, p. 16) afirmam que “O sistema sensorial mais importante que a pessoa cega possui, para conhecer o mundo, é o sistema háptico ou tato ativo”. Elas apontam que:

O Sistema háptico é o tato ativo, constituído por componentes cutâneos e sinestésicos, através dos quais impressões, sensações e vibrações detectadas pelo indivíduo são interpretadas pelo cérebro e constituem fontes valiosas de informações. As retas, as curvas, o volume, a rugosidade, a textura, a densidade, as oscilações térmicas e dolorosas, entre outras, são propriedades que geram sensações táteis e mentais importantes para a comunicação, a estética, a formação de conceitos e de representações mentais (Sá; Campos; Silva, 2007, p. 16).

A pesquisa apoia-se em dados que comprovam os benefícios do uso do tato ativo, conforme definido pelas autoras, considerando que as interfaces do modelo computacional desenvolvido utilizam os recursos dos mapas táteis como meio de interação, que são recursos de tecnologia assistiva eficientes em apoio ao processo de ensino e aprendizagem dos alunos com deficiência visual, promovendo um ambiente educacional mais inclusivo para esse público.

3.5 A educação básica para as pessoas DV no Brasil

Apresentamos os grupos docentes e discentes que atuaram na educação básica brasileira entre os anos de 2014 até 2023, por meio dos dados que se encontram disponíveis no site do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira).

No item 3.5.1, apresentamos os resultados que comprovaram o aumento da participação profissionais que atuaram como docentes com deficiência no ambiente escolar na educação básica.

No item 3.5.2, já identificamos um aumento absoluto das matrículas dos alunos com deficiência, o que materializa as ações das políticas inclusivas destinadas à educação básica.

3.5.1 O protagonismo dos docentes com deficiência na educação

Primeiramente, realizamos uma análise numérica da representatividade dos docentes atuantes na educação básica ao longo do período de uma década, isto é, até o último levantamento publicado pelo INEP, que foram compreendidos entre o ano de 2014 até o ano de 2023, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Docentes da Educação Básica no Brasil por regiões.

Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	2.184.267	2.187.154	2.196.397	2.192.224	2.226.423	2.212.018	2.189.005	2.190.943	2.315.616	2.354.194
Norte	190.813	193.703	194.142	195.054	196.831	194.120	191.894	191.023	200.423	202.742
Nordeste	623.341	621.895	628.315	629.109	624.787	622.987	613.629	603.640	635.889	653.727
Sudeste	887.150	875.722	876.669	872.505	903.549	892.326	885.134	903.125	966.725	968.843
Sul	328.438	336.019	337.150	334.115	335.994	337.680	337.971	335.564	350.892	363.564
Centro-Oeste	155.348	160.606	161.030	162.357	166.146	165.822	161.288	158.730	162.664	166.218

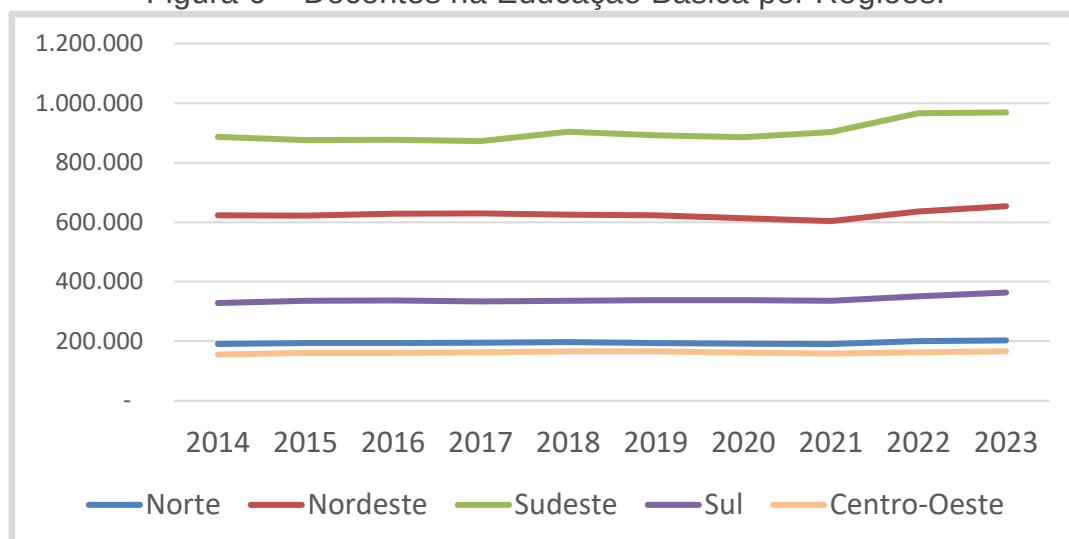
Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Com base nesses dados, Figura 5, percebemos que o Brasil apresentou um crescimento de 7,8% dos docentes atuantes na educação básica, mesmo não sendo constante, pois observamos quedas nos anos de 2017, 2019 e 2020 e um crescimento mais acelerado nos anos de 2022 e em 2023.

Analisando as regiões do Brasil, Figura 5 e Figura 6, a Região Norte, região ocupou a segunda menor concentração dos docentes do Brasil em 2023 (8,61%), representando um crescimento no período de 6,3%.

Na Região Nordeste, concentramos 27,45% dos docentes do Brasil, ocupando a segunda colocação em 2023 e observamos que o crescimento docente correspondeu a 4,9% (2014 até 2023), apresentando um declínio entre os anos de 2018 a 2021, recuperando-se em 2022 e em 2023.

Figura 6 – Docentes na Educação Básica por Regiões.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

O segundo maior crescimento ocorreu na Região Sudeste com 9,2%, após apresentar quedas no decorrer dos anos de 2014 até 2020, mas o quantitativo docente obteve um ganho mais significativo entre os anos de 2021 até 2023. Nessa Região, temos a maior concentração de docentes do Brasil em 2023, representando 41,15%.

A Região Sul apresentou o maior percentual de crescimento da década, 10,7%, região que abriga a 15,44% dos docentes do Brasil.

Por fim, a Região Centro-Oeste possui a menor concentração dos docentes do Brasil, 7,50%, apresentando um crescimento de 7%.

Apresentamos, na Figura 7, os números que correspondem aos docentes com alguma deficiência que atuaram na educação especial no Brasil.

Figura 7 – Docentes PcD da Educação Básica Especial no Brasil.

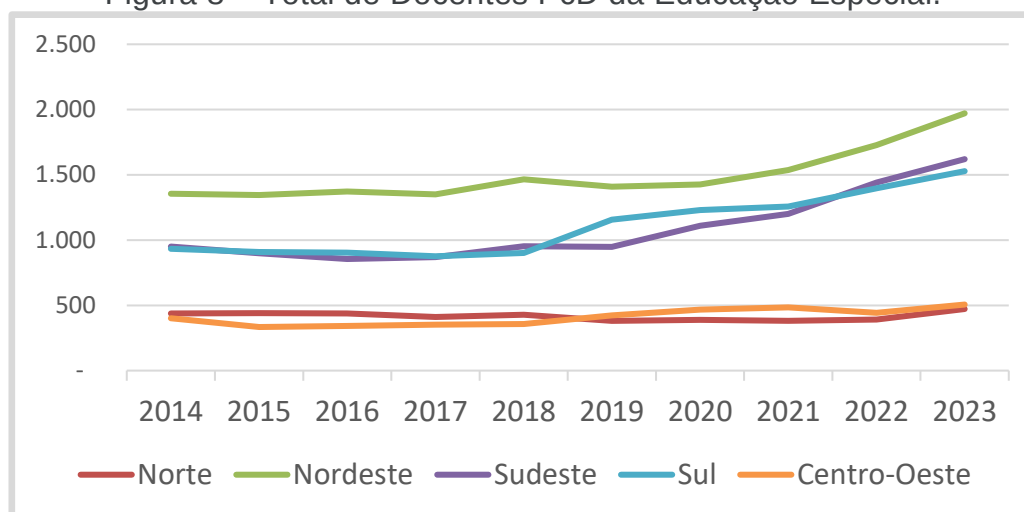
Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	4.073	3.921	3.907	3.856	4.103	4.316	4.618	4.856	5.398	6.094
Norte	439	441	439	412	429	381	390	382	392	472
Nordeste	1.356	1.345	1.371	1.349	1.465	1.409	1.425	1.536	1.729	1.971
Sudeste	950	900	855	870	953	948	1.111	1.201	1.441	1.620
Sul	932	908	905	876	902	1.157	1.230	1.257	1.397	1.528
Centro-Oeste	402	334	343	353	358	423	468	485	442	506

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Percebemos na Figura 7, que o número total dos docentes com deficiência no Brasil aumentou, de 4.073 em 2014 para 6.094 em 2023, indicando um crescimento de cerca de 49,6% no período.

Apresentamos, nas Figura 7 e Figura 8, os docentes que atuaram na educação básica especial distribuídos pelas regiões do Brasil.

Figura 8 – Total de Docentes PcD da Educação Especial.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A Região Nordeste lidera o número de docentes com deficiência em todos os anos, com cerca de 32% a 37% do total nacional. Os números se elevaram de 1.356 em 2014 para 1.971 em 2023.

O Sudeste possui a segunda maior participação, com uma média de 22% a 27% do total nacional, aumentando de 950 em 2014 para 1.620 em 2023.

A região que representou cerca de 20% a 25% do total, com um aumento quase que constante de 932 para 1.528 docentes no período analisado, foi a Região Sul do Brasil, ocupando a terceira maior participação.

A Região Norte e a Centro-Oeste apresentaram os menores índices de docentes com deficiência atuantes na educação especial, dados bem aproximados, registrando entre 8% e 9% do total nacional, o primeiro apresentou um crescimento de 439 para 472 e o segundo cresceu de 402 para 506 em 2023.

No que tange a educação especial, analisamos o quantitativo dos docentes atuantes em classe comum e exclusiva, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Docentes PcD da Educação em Classes Comuns e Exclusivas.

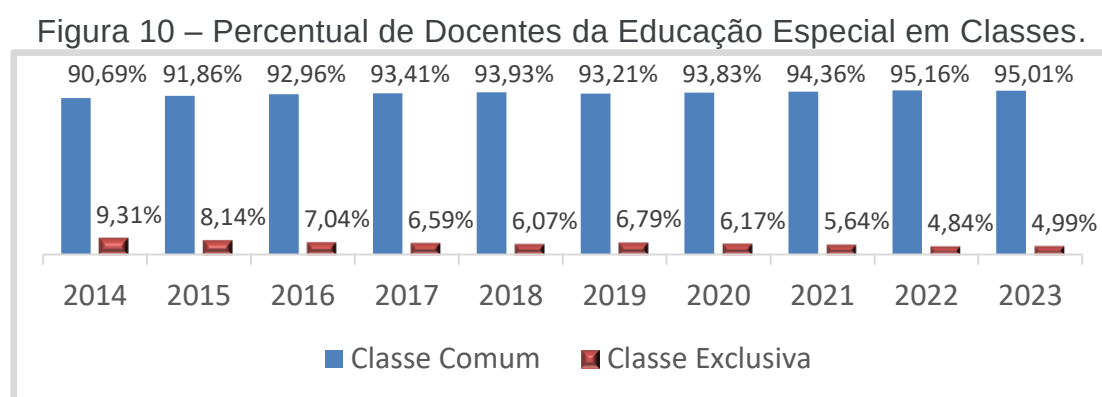
Classes	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Comum	3.694	3.602	3.632	3.602	3.854	4.023	4.333	4.582	5.137	5.790
Exclusiva	379	319	275	254	249	293	285	274	261	304

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

As Classes Comuns representam o ensino regular, cujos alunos com e sem deficiência compartilham o mesmo ambiente escolar e as Classes Exclusivas são correspondentes às turmas específicas para os alunos com deficiência.

Os docentes em classes comuns no Brasil aumentaram de 3.694 em 2014 para 5.790 em 2023, correspondendo a um crescimento de 56,8%. Por outro lado, os docentes em classes exclusivas apresentaram uma variação de queda ao longo dos anos, tendo em 2023 uma diminuição oscilando de 379 em 2014 para 304 em 2023, uma redução de 19,8%.

Apresentamos um comparativo do total de docentes com deficiência atuantes entre as duas classes, Figura 9 e Figura 10, na educação especial.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Os docentes com deficiência em classes comuns aumentaram em mais de 4%, no entanto a participação desses docentes em classes exclusivas foi reduzida em mais de 4% ao longo dessa década.

A redução progressiva da participação dos docentes, em geral, nas classes exclusivas reflete uma priorização da convivência entre alunos com e sem deficiência nos ambientes educacionais.

Na Figura 11, relacionamos o quantitativo dos outros docentes atuantes na educação básica classificados como sem deficiência com os docentes com deficiência que atuaram na educação especial.

Figura 11 – Docentes X Docentes PcD da Educação Especial do Brasil.

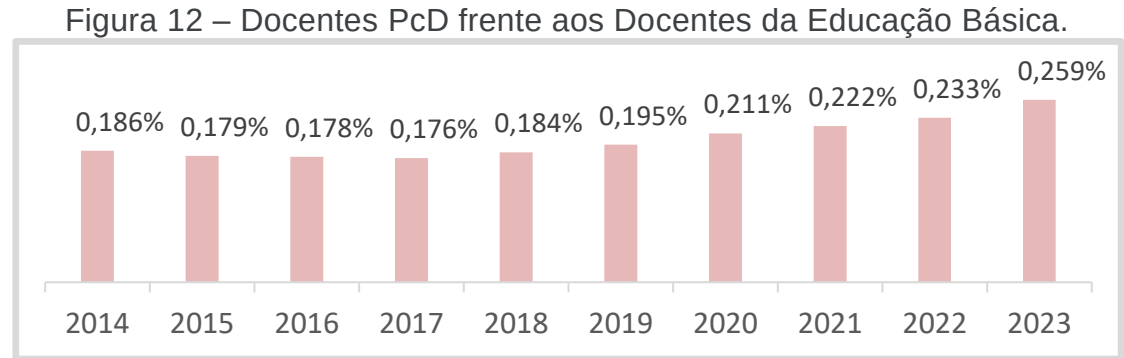
Prof/Anos	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Docentes	2.180.194	2.183.233	2.192.490	2.188.368	2.222.320	2.207.702	2.184.387	2.186.087	2.310.218	2.348.100
Docentes PcD	4.073	3.921	3.907	3.856	4.103	4.316	4.618	4.856	5.398	6.094

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Na, Figura 11, observamos um acréscimo de 167.906 docentes na educação básica especial. Nesse período, entre os anos de 2021 e 2023, tivemos um crescimento e flutuações em alguns anos, como em 2020, cuja redução ocorreu no quantitativo dos docentes sem alguma deficiência.

No caso dos docentes com deficiência atuantes na educação especial, Figura 11, apresentamos um aumento de 4.073 docentes para 6.094, um acréscimo de 2.021 docentes.

Na Figura 12, apresentamos mais um comparativo percentual, desta vez, sobre a representatividade dos docentes com deficiência atuantes na educação especial frente aos docentes sem deficiência que atuaram na educação básica.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A proporção dos docentes com deficiência atuantes na educação especial em relação aos demais, apresentou um considerável crescimento na última década, algo em torno de 49.62%, entretanto em comparação com o total de docentes sem deficiência a representatividade dos docentes com deficiência ainda é muito baixa, bem abaixo de 1%, Figura 12, em 2023, girando em torno de 0,259%.

Na Figura 13, agrupamos os docentes com Deficiência Visual (DV) que atuaram na educação especial no Brasil, sendo subdivididos em regiões.

Figura 13 – Docentes DV da Educação Especial no Brasil e por Regiões.

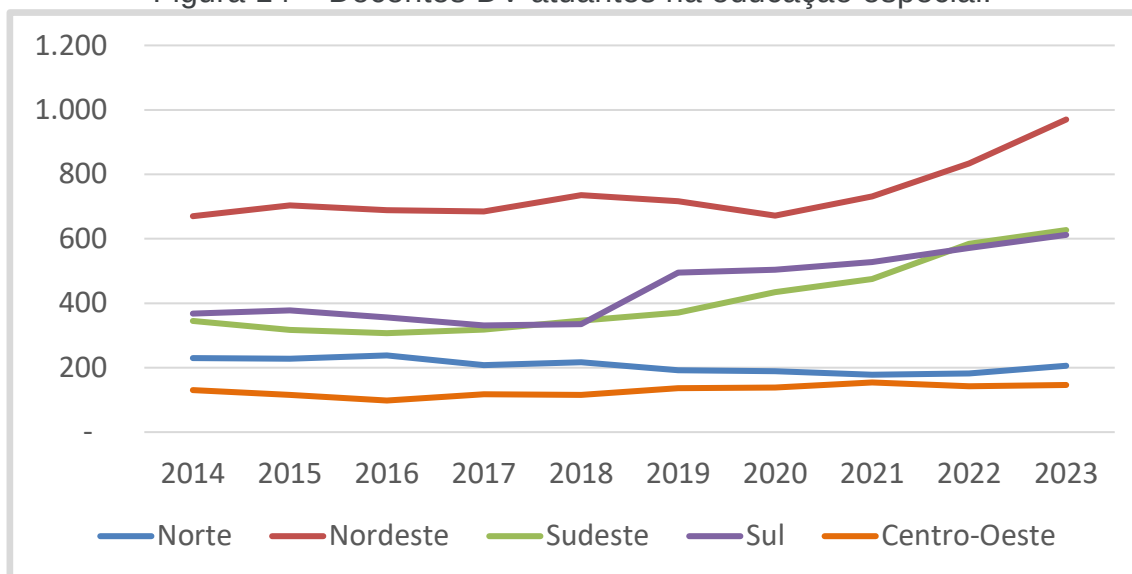
Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	1.739	1.737	1.683	1.657	1.747	1.910	1.934	2.063	2.312	2.560
Norte	230	228	238	208	217	192	189	178	182	206
Nordeste	670	704	689	685	735	716	672	731	834	970
Sudeste	345	317	307	318	346	371	434	475	584	627
Sul	368	378	356	331	335	495	504	528	571	612
Centro-Oeste	130	115	98	117	115	136	138	154	142	146

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

O número dos docentes com deficiência visual atuantes na educação especial no Brasil aumentou de 1.739 (2014) para 2.560 (2023), representando um crescimento de 47,3% no período. Nesta década, obtivemos um acréscimo mais acentuado a partir de 2021.

Nas Figura 13 e Figura 14, ilustramos os dados que correspondem aos docentes DV que atuam na educação básica distribuídos por regiões.

Figura 14 – Docentes DV atuantes na educação especial.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A Região Nordeste reuniu a maior concentração dos docentes com deficiência visual do Brasil, relatando um crescimento consistente ao longo dos anos. Os quantitativos dos docentes subiram de 670 (2014) para 970 (2023), resultando em um aumento de 44,8%, podemos destacar os anos entre 2021 e 2023 por ocorrer um salto de 731 para 970, indicando um maior investimento ou adesão às políticas inclusivas dessa categoria na região.

As Regiões Sudeste e Sul apresentam índices semelhantes ao longo dessa década, terminando em segunda colocação, a primeira obteve um crescimento mais estável, cujo quantitativo foi de 345 (2014) para 627 (2023), com um aumento total de 81,74% no período. Após 2020, a região apresentou crescimento expressivo, refletindo uma maior inclusão desses docentes. A segunda apresentou uma recuperação significativa, após uma queda entre os anos de 2014 e 2018, o número de docentes subiu de 335 (2018) para 612 (2023), nessa década, o que representou um aumento de 66,30%.

A Região Centro-Oeste apresentou um crescimento mais modesto no período, que foi de 12,3%. Ao longo dessa década, essa região sempre obteve os menores resultados do país, o maior registro foi de 154 docentes em 2021, fechando a década em 146 docentes.

A Região Norte foi a que apresentou um índice negativo de -17,8%, reduzindo o número dos docentes de 230 para 189 em 2020, recuperando-se entre os anos de 2021 até 2023, fechando a década com 206 docentes DV, assim, fechando a década no negativo em -10,43%.

O universo dos docentes cegos está inserido no conjunto dos outros docentes DV atuantes na educação especial no Brasil, relacionados ao longo da última década, conforme ilustrado na Figura 15.

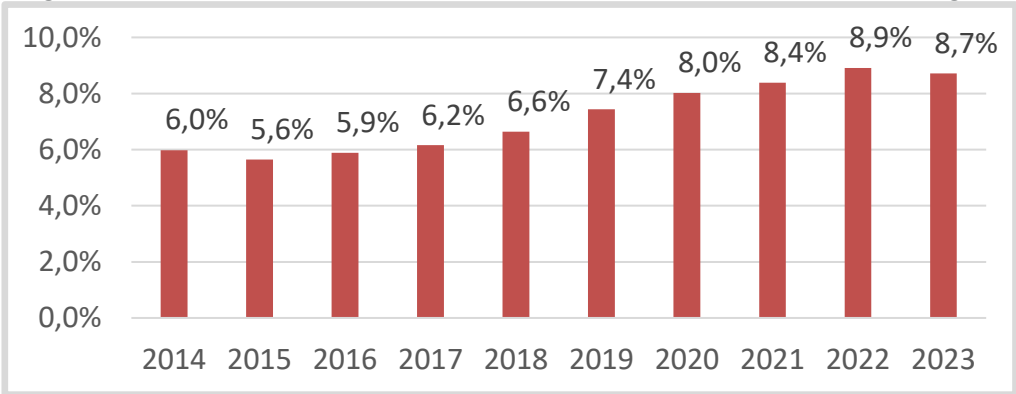
Figura 15 – Relação entre os Docentes DV e os Docentes Cegos.

Docentes / Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Docentes PclV	1635	1639	1584	1555	1631	1768	1779	1890	2106	2337
Docentes Cegos	104	98	99	102	116	142	155	173	206	223

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A representação dos docentes cegos atuantes na educação especial no Brasil, Figura 15 e Figura 16, ao longo da década mais que dobrou, aumentou de 104 em 2014 para 223 em 2023. Houve um crescimento total de 119 docentes cegos ao longo do período, o que representou um aumento de aproximadamente 114,42%.

Figura 16 – Percentual entre os Docentes DV e os Docentes Cegos.

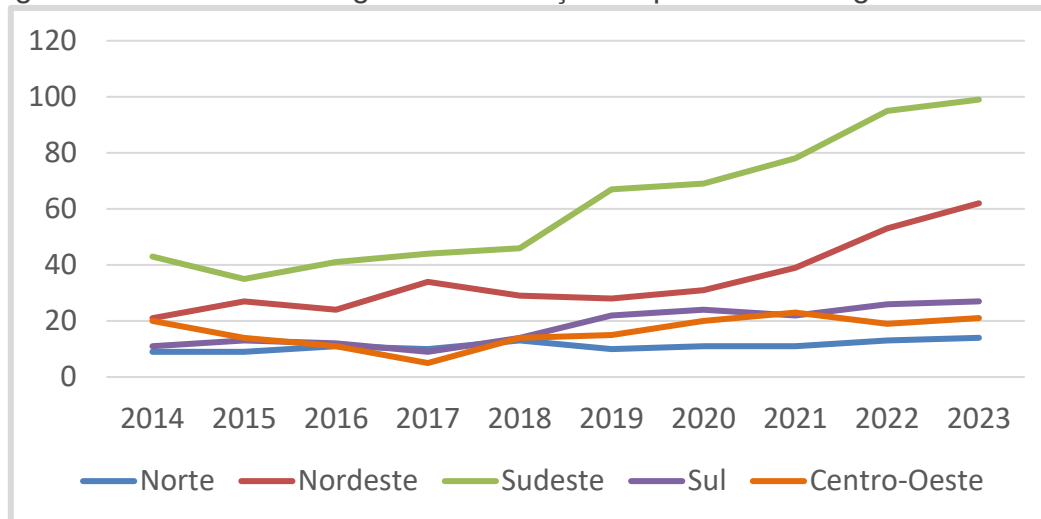


Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Além do crescimento significativo dos docentes cegos, Figura 15, percebemos que tivemos uma elevação na proporcionalidade dos docentes

cegos entre os demais docentes DV atuantes na educação especial do Brasil desde o ano de 2016 até 2022, com uma leve queda em 2023, conforme a Figura 16. Na Figura 17, ilustramos a distribuição desses docentes por regiões do Brasil.

Figura 17 – Docentes Cegos da Educação Especial nas Regiões do Brasil.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A Região Sudeste liderou em crescimento representativo dos docentes cegos em números absolutos na década, passando de 43 para 99, apresentando um percentual positivo de 130,23%.

Já a Região Nordeste liderou em percentual de crescimento, atingindo 195,24%, saltando de 21 docentes cegos para 62 no mesmo período.

O Sul, em terceira colocação, apresentou um salto de 11 docentes cegos para 27 docentes, atingindo 145,45% de crescimento.

A região Norte apresentou índices que saltaram de 9 docentes cegos para 14 docentes, representando 55,56% de crescimento.

Os piores resultados foram os da Região Centro-Oeste, que passou de 20 docentes cegos para somente 21, na década, chegando a imprimir uma queda de -75% no ano de 2017, representada somente por 5 docentes, recuperando-se ao longo dos anos. Na década, obteve somente 5% de aumento.

Identificamos acréscimos desiguais entre as regiões, com maior inclusão dos docentes cegos no Sudeste e Nordeste, enquanto no Norte e no Centro-Oeste os índices são relativamente baixos, assim, como na Região Sul.

Na deficiência visual, temos que os docentes de baixa visão foram a parte mais significativa que atuam na educação especial no Brasil, estando em grande

vantagem numérica em comparação com as outras classificações das pessoas com deficiência visual, assim, como apresentamos na Figura 18.

Figura 18 – Números dos Docentes DV e dos Docentes de Baixa Visão.

Docentes / Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Docentes PclV	105	100	99	102	116	143	156	173	206	224
Docentes BV	1.634	1.637	1.584	1.555	1.631	1.767	1.778	1.890	2.106	2.336

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

O número dos docentes com baixa visão (BV) aumentou de 1.634 em 2014 para 2.336 em 2023, representando um crescimento total de 702 docentes ao longo de 10 anos, o que representou um acréscimo percentual de 42,97%.

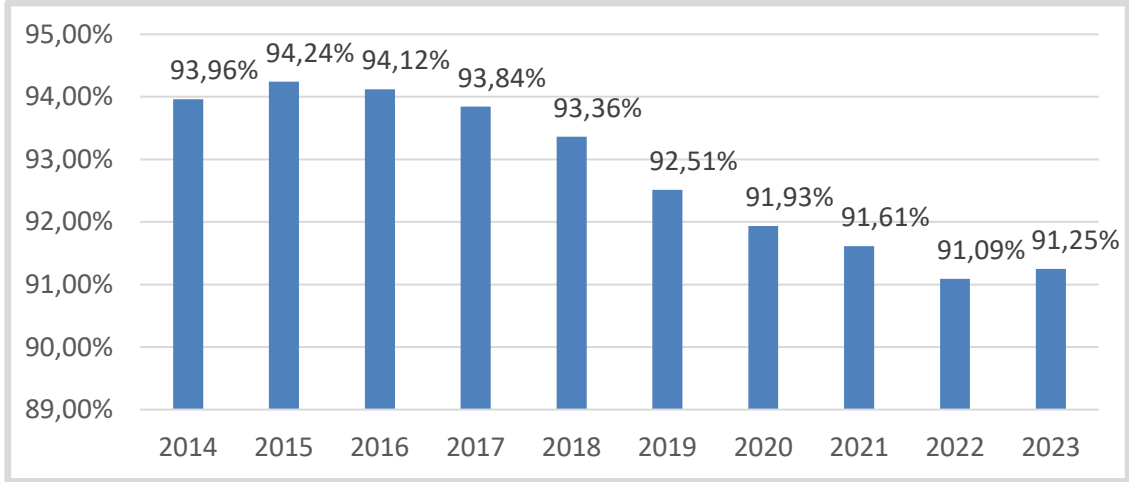
As maiores variações anuais registradas foram entre os anos de 2021 para 2022, como o crescimento de 216 docentes, +11,43%, e, nos anos de 2022 para 2023, com um salto de 230 docentes, um acréscimo de 10,92%.

Entre os anos de 2015 e 2017, observamos um leve declínio, com o registro de menos -82 docentes no período.

Os docentes de baixa visão apresentaram um crescimento contínuo, a partir de 2018 e especialmente nos últimos anos (2021–2023).

Em comparação com os demais docentes DV, os docentes de baixa visão possuem os maiores percentuais de representação, conforme constatamos nas Figura 18 e Figura 19.

Figura 19 – Relação entre os Docentes DV e os Docentes de Baixa Visão.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

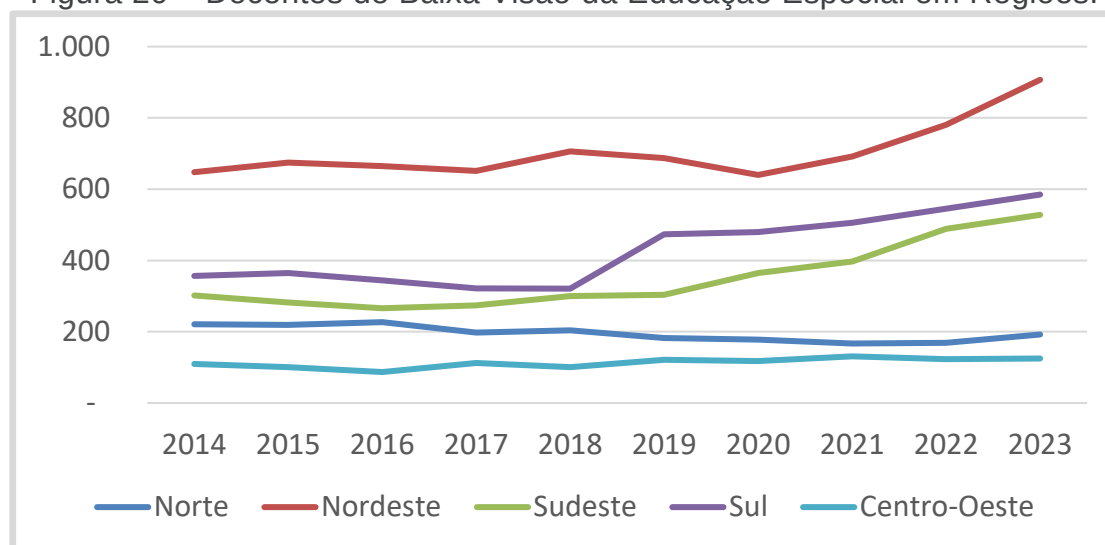
Os dados comprovam que os docentes de baixa visão representaram a maior proporção no grupo total de docentes com deficiência visual, mesmo

apresentando uma tendência de queda na participação desse percentual dos docentes BV, saindo de 93,96% em 2014 para 91,25% em 2023.

Observamos que enquanto os docentes BV cresceram 42,97% no período (2014–2023), os docentes cegos cresceram 114,42%, mais que o dobro em termos percentuais.

Na Figura 20, apresentamos a distribuição dos docentes BV, em números, distribuídos entre as Regiões do Brasil.

Figura 20 – Docentes de Baixa Visão da Educação Especial em Regiões.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Na Figura 20, em 2014 na Região Norte, eram 221 docentes BV, sendo reduzido para 192 em 2023, queda de -13,12%. Em 2016 e 2021 ocorreu mais uma queda de 227 para 167 docentes e uma recuperação entre os anos de 2021 e 2023.

Já a Região Nordeste cresceu de 648 docentes BV em 2014 para 907 em 2023, um percentual positivo em mais de 40%. Em 2021 até 2023, apresentou um aumento de 215 docentes, representando mais de 31,08%. O Nordeste, possui os maiores números absolutos, que foram de 907 docentes BV.

A Região Sul se apresenta em segunda colocação, cuja representação dos docentes BV apresentou um crescimento de 357 em 2014 para 585 em 2023, apresentando um percentual de crescimento de +63,87%, como o acréscimo de 228 docentes BV. O período de destaque está entre os anos de 2019 e 2023, havendo um aumento de 112 docentes BV. O Sul se manteve em crescimento mais constante após o ano de 2018.

A Região Sudeste aumentou o quantitativo de docentes BV de 302 em 2014 para 528 em 2023, representando um crescimento percentual de 75% como o acréscimo de 226 docentes BV. Esse crescimento foi mais expressivo a partir de 2020. A região teve o segundo maior crescimento percentual e absoluto entre as regiões.

A Região Centro-Oeste aumentou de 110 docentes BV no ano de 2014 para 125 em 2023, percentual de +13,64%. O número de docentes BV oscilou ao longo do período, com uma queda significativa em 2016 com -87 docentes e uma recuperação parcial ocorrendo até 2021 com 131 docentes.

Os indicativos do censo escolar do INEP apresentam uma tendência crescente da inclusão dos docentes com deficiência atuantes na educação básica brasileira, apresentando, também, um acréscimo ao longo dos últimos anos dos docentes com deficiência visual atuantes na educação básica de uma forma geral.

Os docentes de baixa visão são bem numerosos em todas as regiões brasileiras e os docentes cegos encontram-se em tendência de alta.

Na próxima seção, apresentaremos o protagonismo educacional de nosso principal público-alvo: os estudantes com deficiência, em especial aqueles com deficiência visual.

3.5.2 O protagonismo dos discentes com deficiência na educação

No item anterior, realizamos um levantamento sobre a presença dos docentes com deficiência na educação básica. Neste item, utilizamos o mesmo banco de dados disponibilizado pelo INEP para mapear, ao longo de uma década (de 2014 a 2023), a representatividade dos discentes com deficiência matriculados na educação básica, conforme ilustramos na Figura 21.

Figura 21 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos.

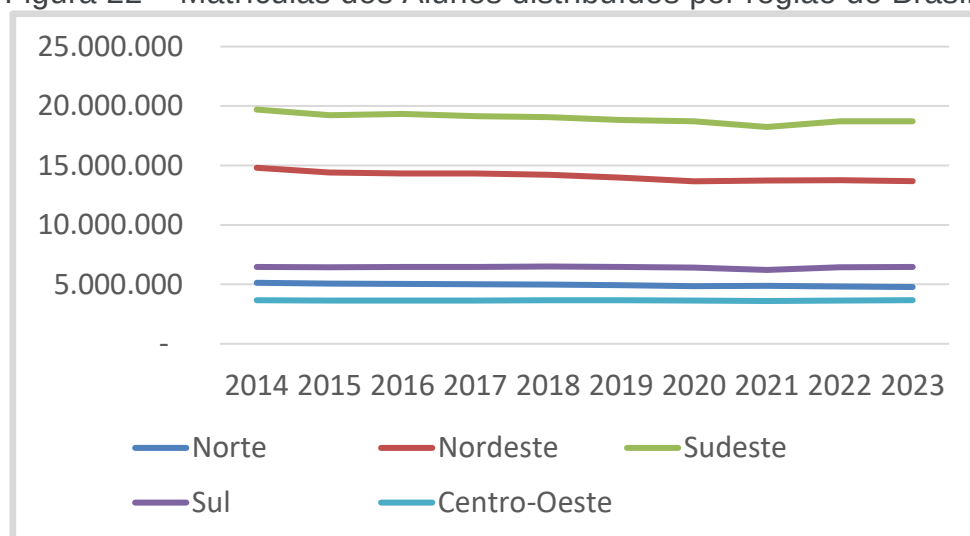
Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	49.771.371	48.796.512	48.817.479	48.608.093	48.455.867	47.874.246	47.295.294	46.668.401	47.382.074	47.304.632
Norte	5.131.557	5.071.784	5.030.223	5.010.901	4.992.490	4.924.663	4.852.075	4.868.765	4.812.754	4.776.303
Nordeste	14.806.714	14.405.392	14.325.245	14.338.627	14.213.442	13.968.476	13.670.082	13.745.359	13.767.582	13.685.355
Sudeste	19.705.590	19.236.902	19.350.189	19.144.341	19.074.940	18.838.026	18.726.862	18.241.371	18.717.083	18.707.707
Sul	6.472.982	6.437.510	6.468.176	6.474.237	6.504.063	6.476.418	6.416.419	6.213.513	6.441.704	6.462.991
Centro-Oeste	3.654.528	3.644.924	3.643.646	3.639.987	3.670.932	3.666.663	3.629.856	3.599.393	3.642.951	3.672.276

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Observamos que ocorreu uma redução no número de matrículas na educação básica brasileira, passando de 49.771.371 em 2014 para 47.304.632 em 2023, sendo uma redução de 2.466.739 matrículas. Na Figura 22, apresentamos a distribuição de matrículas por regiões do Brasil.

A Região Norte, em 2014, matriculou 5.131.557 alunos e em 2023 foram matriculados somente 4.776.303 alunos, apresentando uma redução de 355.254 matrículas, sendo a segunda maior redução entre as regiões do Brasil.

Figura 22 – Matrículas dos Alunos distribuídos por região do Brasil.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A Região que apresentou a maior queda em suas matrículas foi a Região Nordeste, que saltou, negativamente, de 14.806.714 matrículas em 2014 para 13.685.355 em 2023, apresentando uma redução de -7,57%.

Em seguida, temos a Região Sudeste que em 2014, apresentou uma redução de 19.705.590 matrículas para 18.707.707 matrículas em 2023, resultando em uma redução de 997.883 matrículas.

A Região Sul apresentou em 2014 uma redução de 6.472.982 matrículas para 6.462.991 matrículas em 2023, ocorrendo uma redução de 9.991 matrículas e a um percentual de -0,15%.

A Região Centro-Oeste foi a única região brasileira que apresentou um crescimento em suas matrículas, mesmo que tímido, pois em 2014 foram matriculados 3.654.528 alunos e em 2023 foram 3.672.276, apresentando um acréscimo de 17.748 matrículas, representando um aumento de 0,49%.

Apresentamos, na Figura 23, os números que correspondem aos alunos com alguma deficiência matriculados na educação básica no Brasil.

Figura 23 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos PcD.

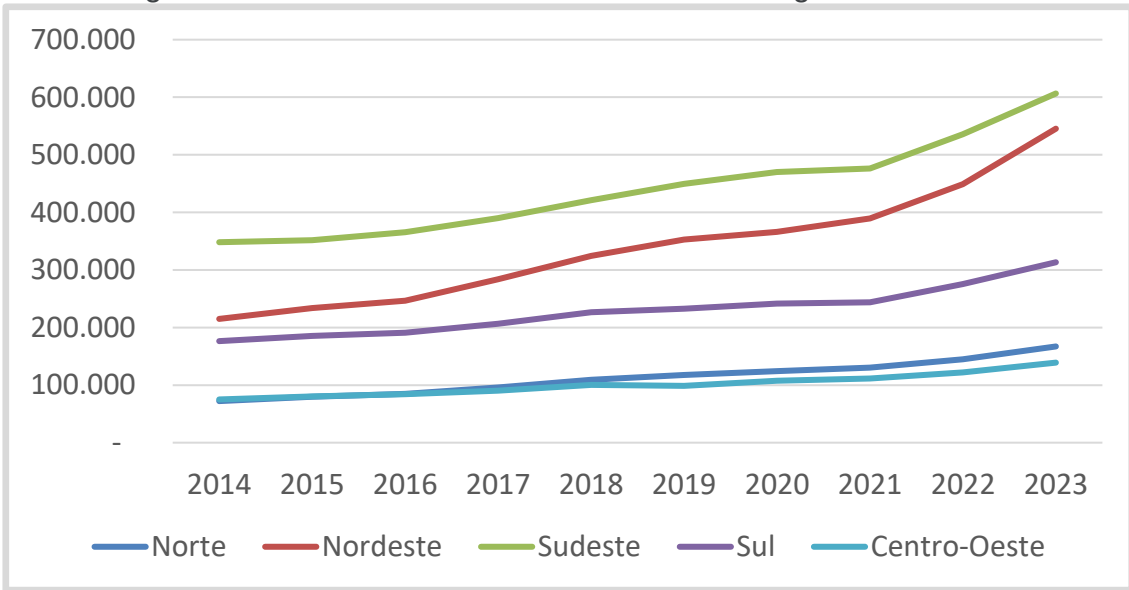
Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	886.815	930.683	971.372	1.066.446	1.181.276	1.250.967	1.308.900	1.350.921	1.527.794	1.771.430
Norte	72.198	79.529	84.509	95.979	108.990	117.487	124.072	130.230	144.948	167.104
Nordeste	214.963	233.917	246.460	283.579	324.209	352.573	365.891	389.503	449.266	545.414
Sudeste	348.222	351.862	365.421	389.933	421.417	449.539	469.949	475.990	535.788	606.550
Sul	176.366	185.185	191.025	206.566	226.583	232.504	241.299	243.740	275.531	313.350
Centro-Oeste	75.066	80.190	83.957	90.389	100.077	98.864	107.689	111.458	122.261	139.012

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Apesar da redução de 5% no total de matrículas na educação básica do Brasil, observa-se um crescimento de mais de 100% no número de alunos com deficiência matriculados na rede, conforme ilustrado na Figura 23.

Na Figura 24, apresentamos a distribuição das matrículas dos alunos com deficiência ao longo das regiões do Brasil.

Figura 24 – Matrículas dos Alunos PcD em Regiões do Brasil.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Ao contrário do que ocorreu nesta década com as matrículas dos alunos brasileiros na educação básica, as matrículas dos alunos com deficiência apresentaram um crescimento expressivo em todas as regiões do Brasil, conforme apresentado na Figura 24.

A Região Nordeste apresentou o maior crescimento das matrículas desses alunos, que saltaram de 214.963 matrículas em 2014 para 545.414

matrículas em 2023, sendo um acréscimo de 330.451 matrículas a um percentual de +153.76%.

Na Região Norte, que representou o segundo lugar, observamos que em 2014 foram 72.198 matrículas e em 2023 ocorreu um salto para 167.104 matrículas, sendo um acréscimo de +131,47%.

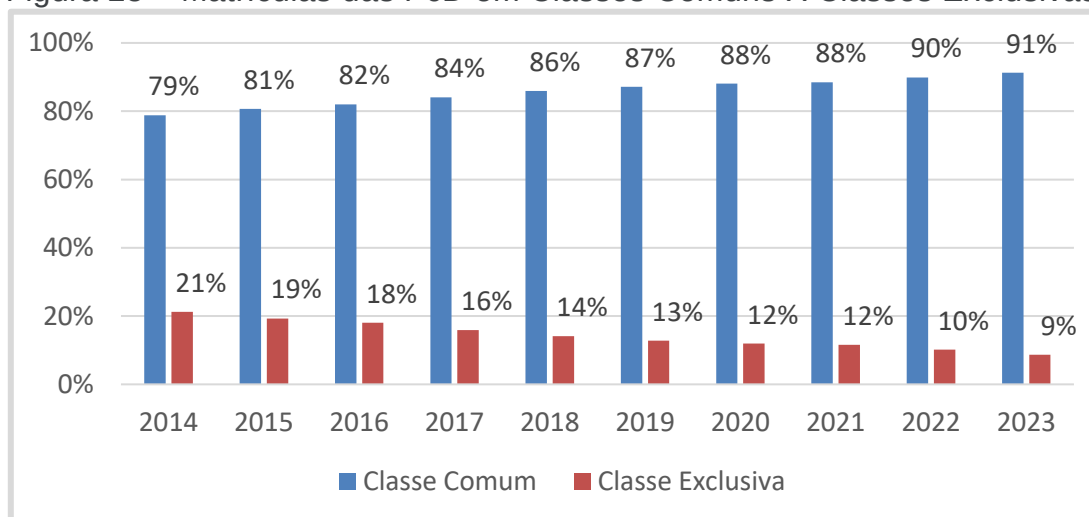
O Sudeste apresentou um crescimento percentual de +74,17%, saltando de 348.222 matrículas em 2014 para 606.550 matrículas em 2023, sendo um acréscimo de 258.328 matrículas.

A Região Sul se destacou em +77,65%, registrando 176.366 matrículas em 2014 e em 2023 matriculou 313.350 alunos com deficiência, sendo um aumento de 135.984 matrículas.

A Região Centro-Oeste apresentou um aumento de 63.946 matrículas, pois em 2014 matriculou 75.066 alunos com deficiência e em 2023 foram 139.012 matrículas, atingindo um aumento de 85,2%.

Na Figura 25, apresentamos a proporção dos alunos matriculados na educação especial, sendo divididos em classes comuns e em classes exclusivas.

Figura 25 – Matrículas das PcD em Classes Comuns X Classes Exclusivas.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

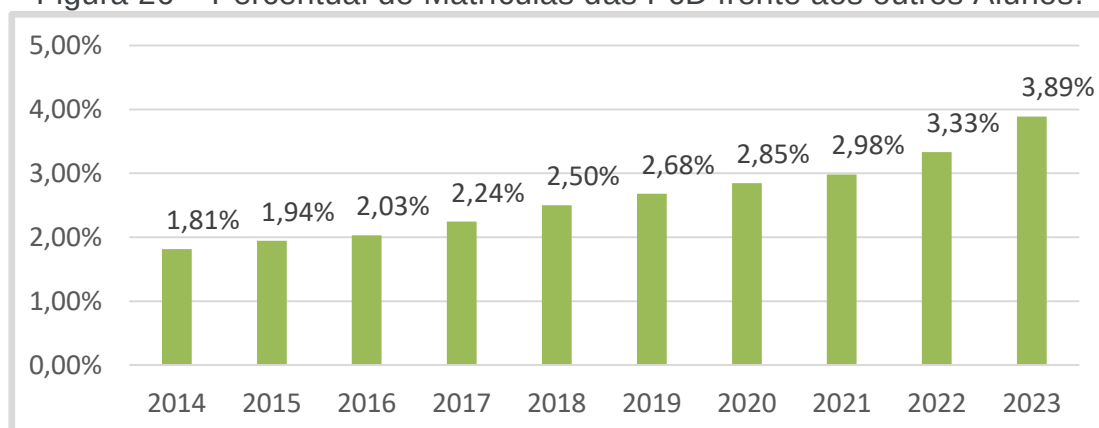
Identificamos uma tendência de aumento das matrículas em classes comuns em relação às matrículas realizadas em classes exclusivas ao longo dessa década, conforme ilustramos na Figura 25.

Observamos que desde 2014 ocorreu uma redução de 21% para 9% em 2023. As matrículas dos discentes com deficiência foram de 79% para 91% em classes comuns.

Apesar do significativo acréscimo das matrículas dos discentes com deficiência em todas as regiões do Brasil, vemos que a representatividade desses alunos, proporcionalmente e em relação aos demais alunos da educação básica, é considerada baixa, menos de 4% do total, Figura 26.

O histórico na década apresentou um crescimento contínuo ao longo dos anos, pois o percentual das matrículas dos alunos com deficiência que em 2014, o percentual era de 1,81%, em 2023, o percentual aumentou para 3,89% no período analisado. Essa tendência positiva, aponta que a inclusão dos alunos com deficiência na educação básica vem avançando significativamente, indicando maior atenção à acessibilidade e às políticas públicas voltadas para educação inclusiva desenvolvidas no Brasil.

Figura 26 – Percentual de Matrículas das PcD frente aos outros Alunos.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

As matrículas dos alunos com deficiência visual foram ilustradas na Figura 27, por meio deles poderemos dimensionar o quanto foi esse acréscimo e como as matrículas foram distribuídas ao longo de todas as regiões brasileiras. Observamos que em todas as regiões apresentaram um salto em suas matrículas, principalmente nas regiões Nordeste, Sudeste e sul, Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos DV.

Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	76.970	75.889	76.470	82.630	85.654	85.378	84.195	84.872	88.365	108.107
Norte	8.916	9.236	9.253	10.123	10.776	11.065	11.107	11.279	11.297	12.072
Nordeste	28.098	27.299	26.558	30.674	32.030	30.817	29.538	30.782	32.595	37.935
Sudeste	23.474	22.704	23.204	23.854	24.166	25.350	25.154	24.530	25.162	32.396
Sul	10.936	11.028	11.784	12.199	12.624	12.406	12.559	12.565	13.288	18.660
Centro-Oeste	5.546	5.622	5.671	5.780	6.058	5.740	5.837	5.716	6.023	7.044

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

O Brasil matriculou a mais 31.137 alunos com deficiência nessa década, o que representou um crescimento de 40,44%.

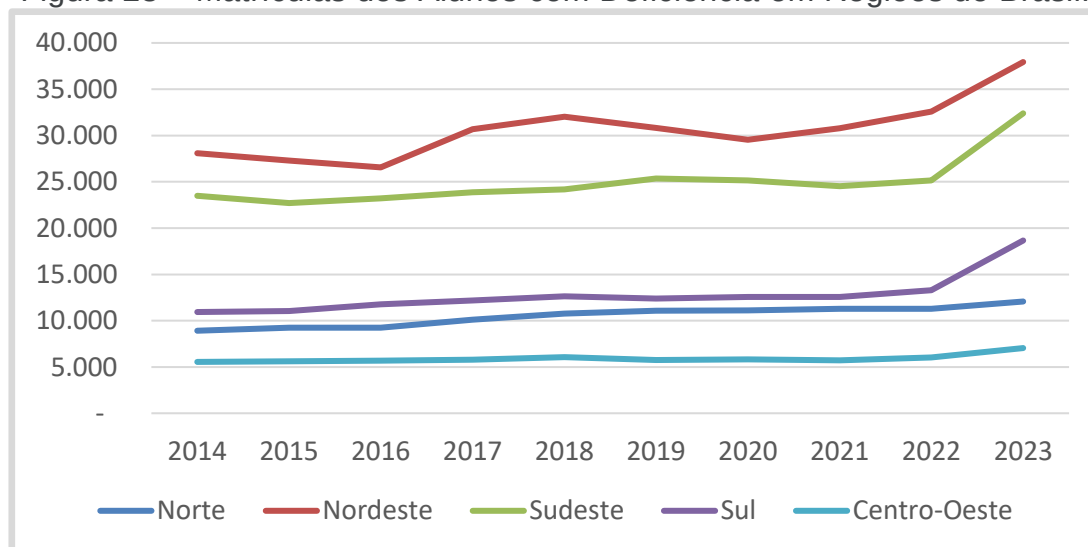
Esse crescimento está alinhado com legislações como o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei 13.146/2015) e a Política Nacional de Educação Especial.

A Região brasileira que apresentou o maior percentual de aumento foi a Região Sul com mais de 70%, um acréscimo de 7.724 novas matrículas, Figura 27 e Figura 28.

A região que apresentou o maior acréscimo de matrículas foi a Região Nordeste com 9.837 novas matrículas e o aumento percentual foi de 35%.

A Região Norte se aproximou do percentual do Nordeste com um aumento de 35,4%, mas com um valor absoluto menor de 3.156 novas matrículas.

Figura 28 – Matrículas dos Alunos com Deficiência em Regiões do Brasil.

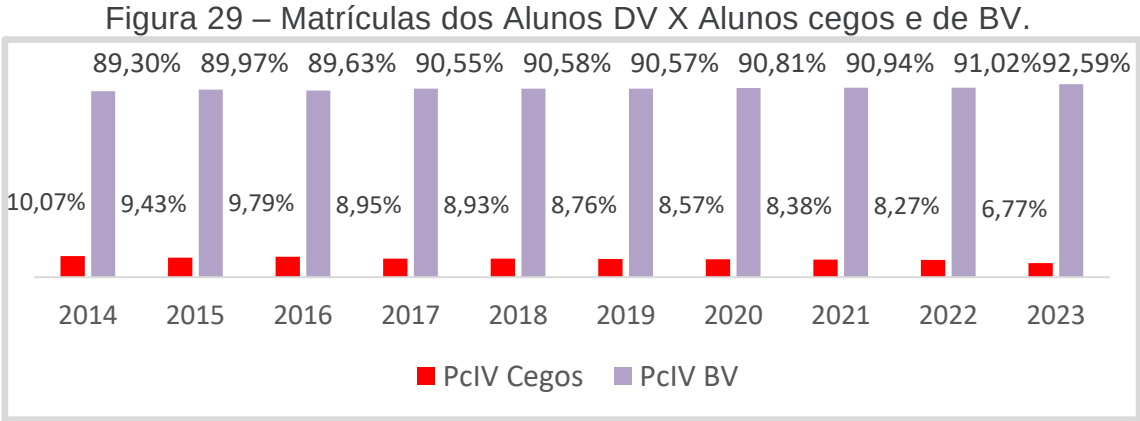


Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Outra região que se aproximou da Região Nordeste em números absolutos foi a Região Sudeste com 8.922 matrículas dos alunos com deficiência, apresentando um percentual de 38% de acréscimo.

A Região Centro-Oeste foi a que apresentou o menor crescimento nas matrículas dos alunos com deficiência, em números, temos 1.498 matrículas, representando um acréscimo de 27%.

Na Figura 29, ilustramos o percentual proporcional das matrículas dos alunos com deficiência visual divididas por especificidades, tais como: os alunos cegos e os alunos de baixa visão.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Em relação às especificidades da deficiência visual, vemos que as matrículas dos alunos cegos vêm em declínio ao longo dos anos nessa década, apresentando uma redução significativa de 32,8%.

A maior representatividade foi as matrículas dos alunos de baixa visão que apresentou impressionantes percentuais, sempre superiores a 89%, nesta década apresentou um crescimento de 3,7% de matrículas.

Na Figura 30, apresentamos os números de matrículas dos alunos com deficiência visual cegos e a proporção em que elas estão distribuídas pelas regiões do Brasil.

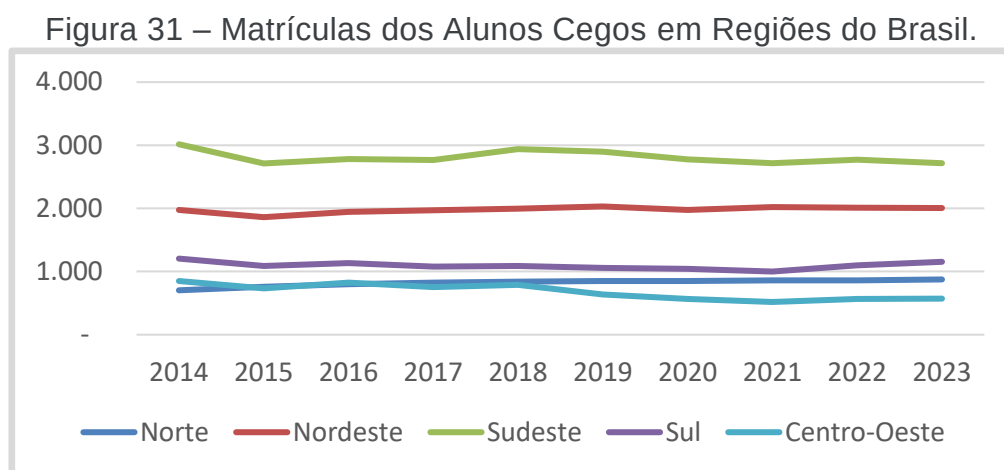
Figura 30 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos Cegos.

Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	7.749	7.154	7.484	7.392	7.653	7.477	7.216	7.114	7.308	7.321
Norte	703	759	800	823	838	852	850	859	860	875
Nordeste	1.975	1.861	1.947	1.973	1.997	2.031	1.978	2.023	2.009	2.008
Sudeste	3.016	2.712	2.780	2.767	2.940	2.898	2.777	2.714	2.774	2.715
Sul	1.205	1.089	1.133	1.077	1.088	1.060	1.043	1.000	1.099	1.154
Centro-Oeste	850	733	824	752	790	636	568	518	566	569

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

O número total de matrículas dos alunos cegos no Brasil apresentou uma variação moderada, com uma queda de 7.749 matrículas em 2014 para 7.321

matrículas em 2023, sendo um percentual negativo de -5,5% no período. Apesar disso, os valores se mantiveram estáveis nos anos, com uma leve oscilação. Na Figura 31, apresentamos as matrículas em regiões do Brasil.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Na Região Norte ocorreu um crescimento consistente de 703 matrículas de alunos cegos em 2014 para 875 matrículas em 2023, um aumento de 24,5%. A região apresentou uma tendência contínua com ligeiros avanços anuais.

A Região Nordeste variou entre 1.861 matrículas em 2015 e 2.031 matrículas em 2019. Após o pico de 2019, os números se estabilizam em torno de 2.000 matrículas dos alunos cegos anuais.

O Sudeste apresentou uma redução significativa de matrículas de 3.016 em 2014 para 2.715 matrículas de alunos cegos em 2023, uma queda de aproximadamente 10%. Apesar disso, a região ainda concentra o maior número de matrículas no Brasil, cerca de 35-39% do total.

A Região Sul teve um declínio até 2021, seguido de uma recuperação, chegando a 1.154 matrículas dos alunos cegos em 2023.

No Centro-Oeste ocorreu uma redução acentuada de matrículas dos alunos cegos, pois em 2014 de 850 matrículas foi para 569 matrículas em 2023, uma queda de 33%. A região enfrenta os maiores desafios em manter ou expandir o número de alunos matriculados.

As regiões Sudeste e Nordeste continuam sendo as principais responsáveis pelo maior número de matrículas dos alunos cegos, somando quase 65% do total nacional.

O Norte e o Sul mostraram crescimento consistente ao longo do período, enquanto o Centro-Oeste e o Sudeste enfrentaram uma redução nas matrículas.

Na Figura 32, os alunos de baixa visão apresentaram um crescimento em número total de matrículas, pois em 2014 foram 68.732 matrículas, saltando em 2023 para 100.093 matrículas, um aumento de 45,6% no período.

Figura 32 – Educação Básica – Matrículas dos Alunos de Baixa Visão.

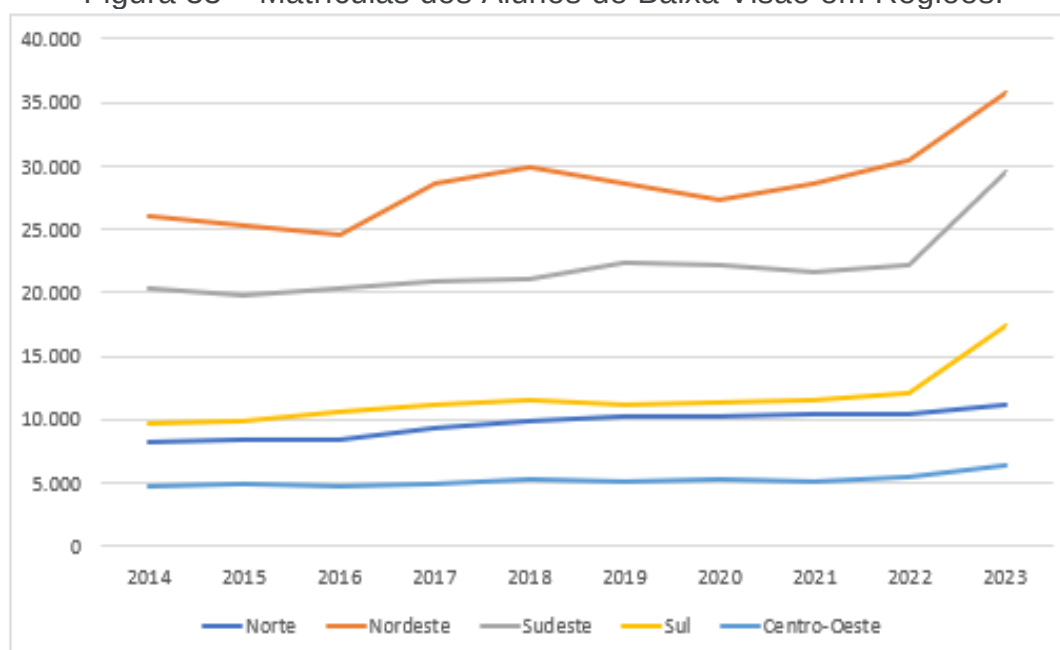
Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Brasil	68.732	68.279	68.542	74.818	77.586	77.328	76.454	77.180	80.429	100.093
Norte	8.148	8.400	8.372	9.229	9.877	10.151	10.205	10.357	10.361	11.119
Nordeste	25.977	25.301	24.472	28.559	29.885	28.571	27.374	28.557	30.377	35.687
Sudeste	20.269	19.841	20.292	20.967	21.123	22.305	22.260	21.688	22.257	29.558
Sul	9.682	9.893	10.600	11.065	11.457	11.240	11.393	11.434	12.041	17.380
Centro-Oeste	4.656	4.844	4.806	4.998	5.244	5.061	5.222	5.144	5.393	6.349

Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

Houve um crescimento contínuo entre 2020 e 2023, com um aumento expressivo de mais de 19.000 matrículas somente no último ano, atingindo o pico da década em 2023.

A distribuição em regiões, Figura 32 e Figura 33, apresentou a Região Norte com um crescimento moderado e constante, partindo do ano de 2014 com 8.148 matrículas de alunos de baixa visão para 11.119 matrículas em 2023, um crescimento de 36,5%, apresenta números menores em relação a outras regiões, mas com um avanço consistente.

Figura 33 – Matrículas dos Alunos de Baixa Visão em Regiões.



Fonte: Adaptado de Brasil (2025).

A Região Nordeste é a região com o maior número absoluto de matrículas, pois em 2014 tinha 25.977 matrículas e em 2023 passou a ter 35.687 matrículas, um aumento de 37,3%, com picos em 2018, 2022 e 2023.

No Sudeste ocorreu um aumento significativo nesta última década, apresentando, em 2014, 20.269 matrículas e em 2023, 29.558 matrículas, um crescimento de 45,8%. Apesar das oscilações entre 2015 e 2021, a região apresentou forte recuperação e liderou o crescimento no último ano.

No Sul a evolução foi expressiva, especialmente, nos anos recentes, em 2014 tinha 9.682 matrículas e em 2023 passou a ter 17.380 matrículas, apresentando um crescimento de 79,5%. O maior avanço percentual entre as regiões, com uma aceleração notável após 2021.

O Centro-Oeste obteve um crescimento contínuo, em 2014 tinha 4.656 matrículas e passou a ter em 2023, 6.349 matrículas, um aumento de 36,4%.

A região apresenta o menor número de matrículas, mas manteve uma evolução consistente, enquanto o Nordeste e o Sudeste concentram mais de 65% das matrículas do Brasil, sendo os principais polos educacionais para os alunos de Baixa Visão.

O Sul se destacou como a região com maior crescimento percentual de 79,5%, sugerindo uma expansão mais recente das políticas inclusivas.

O Norte e o Centro-Oeste continuam com números absolutos menores, mas com melhorias constantes.

Com esta análise da educação básica brasileira, apresentamos um mapeamento resultante no público alvo da pesquisa em apoiar as pessoas com deficiência visual em seu processo de ensino e aprendizagem e na demonstração comprovada que esses alunos possuem a plena capacidade de avançarem em seus estudos, inclusive de se tornarem docentes, atuantes neste mesmo sistema educacional.

4 A JUSTIFICATIVA

A pesquisa se justifica sob diversos aspectos, tais como: a representatividade do público alvo que são os alunos com deficiência visual inseridos no sistema educacional brasileiro que necessitam de mais do que o acesso, mas as plenas condições de obterem o êxito acadêmico.

As leis, as políticas e os acordos internacionais nos quais o Brasil se compromete a manter um sistema educacional acessível, inclusivo e de qualidade para todos.

Os investimentos necessários em novos recursos educacionais, tecnologias assistivas, formação docente adequada que atenda as demandas da inclusão e o investimento em pesquisa tanto voltadas para novas estratégias de ensino e como para novos recursos.

Nos itens anteriores, apresentamos, por meio dos dados expressos pelo Brasil (2025), INEP, nas sinopses estatísticas do censo escolar, um recorte dos anos compreendidos sobre a última década (2014-2023), um mapeamento representativo dos docentes com deficiência visual e dos alunos com deficiência visual na educação básica.

O Brasil possui mais de 2.500 docentes com deficiência visual atuantes na educação especial, representando 0,109% dos docentes da educação básica brasileira, que contou com mais de 2 milhões e 300 mil docentes em 2023. Como apresentamos no item 3.5.1, esses índices apresentam uma tendência de alta constante, pois cada vez mais novos docentes com deficiência visual formam, são identificados e/ou integram ao sistema educacional brasileiro.

Em relação à representatividade discente com deficiência visual matriculados na educação básica/especial brasileira, investigamos serem mais de 108 mil alunos, representando 0,23% dos estudantes da educação básica que são mais de 47 milhões e 300 mil alunos. Esse perfil discente, assim como os docentes com deficiência visual, apresenta índices com tendências de alta para os próximos anos em decorrência das políticas educacionais específicas e pela identificação de novos discentes com deficiência que compõem o sistema educacional.

A educação inclusiva no Brasil tem avançado por meio de diversas iniciativas que buscam garantir o acesso e a permanência de todos os

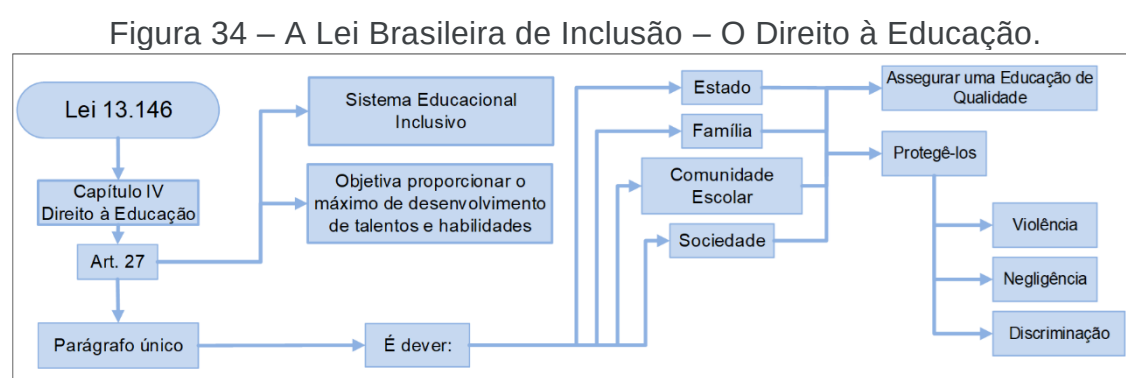
estudantes no ambiente escolar, independentemente, de suas condições físicas, intelectuais, sociais ou emocionais, percebemos que os números das matrículas dos alunos com deficiência nas classes comuns têm aumentado ano a ano.

Esse é o grande público focal que se beneficia desta nossa pesquisa, além dos mais de 2 milhões e 300 mil de professores da educação básica que necessitam e carecem de materiais com características de modelo universal que atendam as demandas dos estudantes no sentido de contribuir com a sua prática docente, por meio de materiais didáticos que apoiem o ensino regular, especial ou não, numa perspectiva inclusiva, que permitam aos estudantes atingirem o nível de seu êxito acadêmico.

Sabemos que as leis asseguram os direitos das Pessoas com Deficiências (PcD) através de dispositivos legais construídos por políticas públicas aprimoradas desde o Brasil imperial até os dias atuais.

A inclusão brasileira foi consolidada a partir da Lei n.º 13.146, Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Brasil, 2015), que assegura à pessoa com deficiência amplas garantias e condições de igualdade, o direito e as liberdades fundamentais que visam incluí-la, definitivamente, como cidadã em todos os aspectos sociais.

Identificamos na Lei Brasileira de Inclusão (LBI) três pontos basilares (Figura 34, Figura 35 e Figura 36) que justificam a pesquisa na forma da lei e em sua importância e existência.



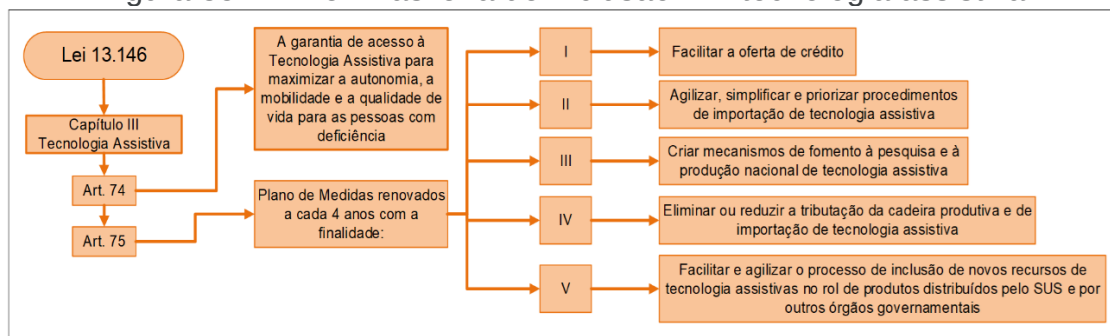
Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

Por meio do Art. 27 da LBI, Figura 34, a educação deve ser inclusiva e proporcionar o desenvolvimento discente, sendo dever do Estado, da família, da comunidade escolar e da sociedade assegurar uma educação de qualidade,

acreditamos que as pesquisas norteiam as políticas e as ações mais eficiente que garantam os direitos por meio da aplicação prática da lei.

Outros artigos, Figura 35, da LBI que justificam a pesquisa, tratam do acesso às Tecnologias Assistivas e o incentivo para a aquisição, a importação, o fomento de produção nacional, o incentivo tributário, incluindo esses recursos, também, ao Sistema Único de Saúde (SUS).

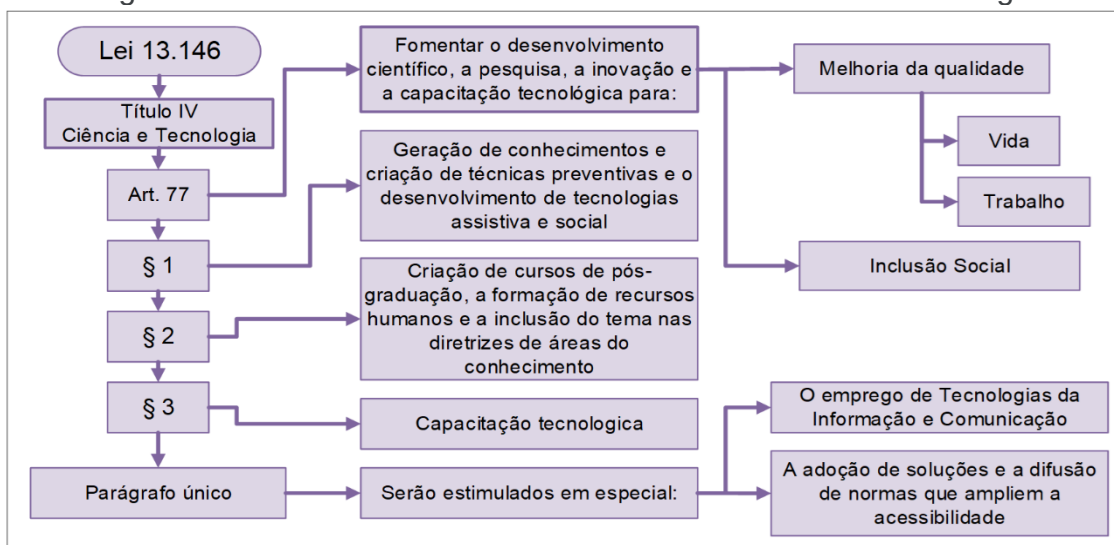
Figura 35 – A Lei Brasileira de Inclusão – A tecnologia assistiva.



Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

Em tema mais específico, Figura 36, o da Ciência e Tecnologia, a LBI cita a estimulação do desenvolvimento científico, da pesquisa, da inovação e da capacitação tecnológica para a geração de conhecimento, de melhoria da qualidade de vida e do trabalho do cidadão, promovendo a inclusão social.

Figura 36 – A Lei Brasileira de Inclusão – A Ciência e Tecnologia.



Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

Ainda, prevê o desenvolvimento de tecnologias assistivas social, a capacitação tecnológica e a criação de cursos de pós-graduação e formação de recursos humanos, pautando o tema da inclusão, estimulando em especial o emprego da tecnologia da informação e comunicação e a adoção de soluções e normas que ampliem a acessibilidade.

Vemos que a pesquisa da Modelagem Computacional Tátil possui o incentivo e amparo legal em diversos aspectos explicitados na LBI.

Para Martins (2020, p.1) que levantou a seguinte questão: “Com que conceito de inclusão iniciaremos 2020?”, em entrevista ao jornal “Tribuna de Minas”, o docente relata que as políticas públicas existentes excluem os discentes no dia a dia escolar e que todos os envolvidos deveriam pensar de forma libertadora no sentido de proporcionar ao discente, não importando as suas barreiras, o desejo pelo saber e a promoção de uma educação libertadora.

Assim, como Andrade e Araújo (2023) que publicaram uma matéria no portal do Terra, intitulado: “94%” dos professores não tem formação para lidar com alunos com deficiência”, relataram as dificuldades de uma aluna cega, estudante da rede estadual do interior da cidade de Recife, que sempre realizou as suas avaliações das disciplinas na educação básica de forma oral, necessitando buscar seus próprios recursos e estratégias educacionais para se manter ativa em seus estudos.

A reportagem apresenta relatos de que a educação inclusiva no Brasil necessita evoluir para se tornar efetivamente inclusiva, pois os estudantes com deficiência são inseridos em classes comuns, sem a devida capacitação dos profissionais da educação para recebê-los adequadamente.

As autoras apontaram que a infraestrutura escolar é deficiente, uma vez que somente 21,5% das unidades com matrículas de alunos com deficiência estão equipadas com Salas de Recursos Multifuncionais (SRM), que prestam o suporte ao AEE (Atendimento Educacional Especializado).

A reportagem apresentou a defesa de Nelma de Cássia, professora e pesquisadora da educação inclusiva, que relatou:

É preciso se aproximar mais do chão da escola, do espaço escolar; ouvir, de fato, a demanda do professor, trazer profissionais e formadores que possam estar dentro desse espaço e, junto até com esse professor, pensar em uma formação mais colaborativa (Andrade; Araújo, 2023).

Os professores lidam, diariamente, com a falta de uma formação mais adequada para o aprimoramento de sua prática docente e não dispõem do acesso às tecnologias assistivas apropriadas que auxiliem na educação dos estudantes com deficiência.

As dificuldades vão além, pois esses desafios também envolvem a falta de infraestrutura escolar básica adequada, inclusive os recursos que possam contribuir com uma maior qualidade do ensino e que, realmente, atendam às necessidades específicas dos estudantes.

Nesse contexto, a educação para ser na prática inclusiva necessita de investimentos que permitam não somente o cumprimento legal, mas um direito de todos, que garantam a justiça social o que é essencial para a redução das desigualdades, permitindo impulsionar o crescimento econômico, contribuindo para a diminuição da pobreza no país.

A Deficiência Visual (DV), Figura 37, foi quantificada pelo censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, realizado em 2010, que apresenta a cegueira e a baixa visão como barreira sensorial de 35,7 milhões de pessoas em todo o país. 18,8% alegaram dificuldades para enxergar e 506 mil pessoas informaram serem cegas (IBGE, 2010).

Figura 37 – Pessoas com Deficiência no Brasil – IBGE 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2010.

O censo de 2010 apresentou um índice que, aproximadamente 24% da população brasileira possui algum tipo de deficiência.

Na Figura 38, apresentamos os dados percentuais em referência ao censo realizado em 2022 pelo IBGE, os resultados foram atualizados a até o 3º trimestre de 2022, mediante a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNADC.

Os dados apontam que 8,9% da população brasileira com 2 anos ou mais possuem algum tipo de deficiência. A Região Sudeste apresenta 8,2% desse perfil, seguida da Região Norte que apresenta 8,4% de sua população.

A Região Centro-Oeste possui 8,6%, em seguida, a Região Sul com 8,8% de seus habitantes PcD. Já a Região Nordeste apresenta o maior percentual do país com 10,3% de brasileiros PcD.

Figura 38 – PcD no Brasil com mais de 2 anos – IBGE 2023.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2023.

Segundo o referido censo, o Brasil possui 209 milhões e 036 mil habitantes, dos quais 18 milhões e 580 mil pessoas possuem alguma deficiência e 190 milhões e 456 mil pessoas não declararam possuírem alguma deficiência.

O Censo IBGE 2022, Figura 39 e Figura 40, apresentam os dados percentuais de brasileiros com mais de 2 anos com deficiência em função de suas dificuldades funcionais.

Figura 39 – Censo IBGE 2022 – Tipos de Dificuldades.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2023.

Em números absolutos, 7 milhões e 078 mil brasileiros declararam possuir alguma dificuldade para andar ou subir degraus, representando 3,4% da população do Brasil.

Aproximadamente, 6 milhões e 504 mil brasileiros apontaram a dificuldade de enxergar, mesmo utilizando óculos ou lentes de contato, sendo 3,1% dos brasileiros.

Temos 2,6% da população que relataram possuir a dificuldade para aprender, lembra-se das coisas ou se concentrar, sendo em números absolutos 5 milhões e 394 mil brasileiros.

Figura 40 – Censo IBGE 2022 – Tipos de Dificuldades II.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2023.

Em seguida, 4 milhões e 601 mil habitantes, relataram possuir dificuldades para levantar uma garrafa de dois litros de água da cintura até a altura dos olhos, representando 2,3% da população brasileira.

O percentual de 1,4% da população apresentou a dificuldade de pegar pequenos objetos ou abrir e fechar recipientes, sendo a realidade de 2 milhões e 833 mil brasileiros.

Para a dificuldade de ouvir, mesmo usando aparelhos auditivos, temos a representatividade de 1,2% da população que em números absolutos, representam mais de 2 milhões e 515 mil brasileiros.

A dificuldade para realizar cuidados pessoais, temos, também, o percentual de 1,2% da população que são, aproximadamente, 2 milhões e 400 mil habitantes.

Por fim, temos os que possuem a dificuldade de se comunicar, para compreender e ser compreendido, ao percentual de 1,1% da população brasileira, sendo, aproximadamente, 2 milhões e 239 mil brasileiros.

Vemos que o censo mapeou diversas características e dificuldades em relação aos brasileiros que possuem algumas das barreiras que dificultam as suas atividades mais básicas e diárias.

A pesquisa visa apoiar o ensino dos educandos com deficiência e segundo este censo é o que representa 3,1% da população brasileira que já atingiu mais de 200 milhões de pessoas, representando um público alvo muito relevante.

A sociedade brasileira, de uma forma geral, necessita evoluir em aspectos de uma sociedade mais inclusiva, promovendo esse processo também na educação por meio de ações inclusivas no ambiente escolar, pois numerosa parte da população enfrenta barreiras e impedimentos que dificultam o desenvolvimento de suas atividades diárias e o desenvolvimento de todo o seu potencial acadêmico por falta de recursos adequados e pela falta da estimulação precoce que apoie o ambiente de ensino e aprendizagem, no ambiente escolar, principalmente na infraestrutura da escola pública.

A utilização dos recursos educacionais digitais e de tecnologias assistivas tem se mostrado fundamental para a inclusão. Esses recursos apoiam tanto os processos de ensino e de aprendizagem quanto a gestão pedagógica das escolas, facilitando a participação de todos os alunos.

O Brasil tem implementado políticas e recursos para promover a educação inclusiva, mas é necessário continuar investindo em infraestrutura, formação docente e no desenvolvimento de materiais acessíveis para garantir uma educação de qualidade para todos.

A ciência tem a prerrogativa de prestar contribuições no sentido de priorizar o desenvolvimento de novas TAs que valorizem a educação por meio

de uma elevação tecnológica desses recursos educacionais, esse preceito é o que motiva a existência desta pesquisa.

A pesquisa proposta, encontra-se inserida na linha 1 do Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inclusão (PGCTIn) da Universidade Federal Fluminense (UFF): **“Práticas educativas, desenvolvimento e análise de materiais nas interfaces das ciências, tecnologias e inclusão”**.

Pesquisaremos sobre a temática de prover os meios disponíveis para o desenvolvimento de um Modelo Computacional Tátil (MCT) interativo, universal, escalar e interdisciplinar.

A pesquisa visa entregar uma opção tecnológica que resulte em um recurso que gere facilitadores para que as pessoas com deficiência visual transponham as barreiras que a deficiência visual as impõe no processo de ensino e aprendizagem, materializando as estratégias computacionais, de designer e pedagógicas que incorporados às interfaces na forma de mapas táteis ao abordem a qualquer área do conhecimento (escalabilidade).

Nessa modelagem, aplicaremos conceitos computacionais, eletrônicos, da interação com os objetos e de design a serviço do ensino e da aprendizagem universal, incluindo as pessoas com deficiência visual no sentido de disponibilizar modernos recursos educacionais que auxiliem o trabalho docente e permitam apoiar o ensino e a aprendizagem desses educandos de forma escalar.

Analisando os contextos apresentados, elaboramos a seguinte questão de pesquisa: **Quais são os limites e as possibilidades do Modelo Computacional Tátil (MCT) como tecnologia assistiva em apoiar o ensino e aprendizagem das pessoas com Deficiência Visual em diversas áreas do conhecimento?**

O estudo proposto investiga soluções tecnológicas computacionais que serão incorporadas aos mapas táteis. Esses mapas são Tecnologias Assistivas (TA) bem consolidadas pela ciência, amplamente utilizados e indispensáveis como recursos em sala de aula que apoiam o desenvolvimento educacional desse público alvo.

No próximo tópico, apresentamos a metodologia composta pelos materiais e pelos métodos aplicados na pesquisa.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para Marconi e Lakatos (2011, p. 83) o método científico não é exclusividade da ciência, porém “não há ciências sem o emprego de métodos científicos”. Dessa forma, para as autoras, “método é um conjunto de atividades sistematizadas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo - conhecimentos válidos e verdadeiros -, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”.

A pesquisa atingiu seu objetivo geral ao estabelecer o conceito da Modelagem Computacional Tátil (MCT), que integra os sentidos do tato, da audição e da visão residual funcional de forma simultânea, aplicada aos conteúdos acadêmicos por meio de uma proposta de modelo universal, interativa, interdisciplinar e escalável, destinada a apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em diversas áreas do conhecimento.

Para alcançar esse objetivo, a pesquisa foi estruturada em quatro objetivos específicos e dividida em seis fases aplicadas na área de campo. O primeiro objetivo específico consistiu em estabelecer o conceito do MCT, o que exigiu um extenso trabalho teórico, fundamentado na teoria da bissociação de Arthur Koestler (1964) e nas quatro etapas do processo criativo de Graham Wallas (1926).

Ferreira (2002) define uma pesquisa denominada como “estado da arte”, aquela que busca por produções acadêmicas em determinadas áreas do conhecimento, analisando, criticamente, tudo que foi produzido sobre a temática, visando a compreensão do que foi consolidado, quais seriam as lacunas e os potenciais caminhos frente ao tema analisado.

A modelagem conceitual baseou-se na identificação das seis matrizes conceituais, a partir de uma pesquisa voltada para o estado da arte, por analisar, criticamente, tudo o que foi produzido na pesquisa do mestrado em conjunto com os requisitos investigados nas bases acadêmicas nos periódicos da Capes, principalmente, sobre o que se referiu ao desenvolvimento dos mapas táteis, visando o objetivo de compreender o que a ciência dispõe como soluções que contribuíram com a pesquisa, assim como definido por Ferreira (2002).

Com a consolidação do conceito do MCT e o desenvolvimento do computador tátil, a investigação avançou para a criação das interfaces dos mapas táteis interativos, organizadas em seis fases:

1. **Fase 01:** Definição das interfaces temáticas experimentais (Objetivo específico 02);
2. **Fase 02:** Criação das interfaces experimentais (Objetivo específico 02);
3. **Fase 03:** Validação das interfaces experimentais pelos docentes (Objetivo específico 03);
4. **Fase 04:** Validação das interfaces experimentais pelos discentes com deficiência visual (Objetivo específico 03);
5. **Fase 05:** Análise dos limites e das possibilidades a partir da visão dos docentes (Objetivo específico 04); e
6. **Fase 06:** Análise dos limites e das possibilidades a partir da visão dos discentes com deficiência visual (Objetivo específico 04).

Atendendo aos preceitos éticos, considerando a participação humana, a pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal Fluminense (CEP-UFF) – **CAAE n.º 66942923.1.0000.8160** (submetida em **13/01/2023**, aprovada em **22/05/2023** pelo parecer **6.071.446**) e também pelos Centros Coparticipantes do Centro Universitário de Valença/Fundação Educacional Dom André Arcoverde, pelo Instituto Benjamin Constant (IBC) (**CAAE n.º 66942923.1.3003.5246**, aprovado em **03/07/2023** pelo parecer **6.158.654**) e pelo Colégio Pedro II (**CAAE n.º 66942923.1.3001.9047**, aprovado em **03/07/2023** pelo parecer **6.158.265**).

As áreas de atuação em campo foram selecionadas por serem referências na educação dos alunos com deficiência visual e por concentrarem os perfis dos alunos com características funcionais e educacionais específicas demandadas pela pesquisa.

Selecionamos o Instituto Benjamin Constant (IBC), por ser referência internacional em educação especial na deficiência visual; o Colégio Pedro II (CP2), que recebe as matrículas dos alunos com deficiência visual oriundos do IBC no ensino médio regular; e a Fundação Municipal de Educação de Niterói

(FME) por possuírem matrículas nesse perfil de educandos, todos localizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Inicialmente, prevíamos o desenvolvimento de um protótipo para cada uma das três unidades, abordando uma área distinta do conhecimento, com temas propostos pelos próprios docentes participantes.

Dessa forma, planejamos demonstrar a eficiência do MCT em uma proposta de caráter interdisciplinar.

A pesquisa contaria com a participação de até 15 docentes e 30 discentes com diferentes classificações da deficiência visual, mas na prática, reduzimos esse escopo e a pesquisa de campo iniciou-se na unidade do Colégio Pedro II, localizada na cidade de Niterói, no Estado do Rio de Janeiro.

A pesquisa em campo apresentou diversos desafios que impactaram no cronograma da pesquisa, tais como: o tempo necessário para a entrega do computador tátil, a greve na rede federal de educação em 2024, as burocracias para o acesso ao campo e, posteriormente, a construção das interfaces interativas do MCT.

Assim, se fez necessário a redução do escopo de investigação em campo para atender ao prazo estipulado pelo programa de pós-graduação, então definimos a unidade de Niterói do Colégio Pedro II como o único campo de pesquisa, apesar da proposta, inicialmente, submetida à Plataforma Brasil.

O professor participante, que leciona a disciplina de Biologia no ensino médio, propôs abordar os temas, 'célula animal' e 'célula vegetal', considerando as dificuldades enfrentadas pelos alunos com deficiência visual em diferenciá-las e compreenderem os conteúdos relacionados.

Nesta unidade, foram avaliadas as duas interfaces interativas do MCT, utilizando uma única unidade do computador tátil que reconheceu a conexão dos dois temas propostos pelo docente de Biologia (As células Eucariontes animais e vegetais).

Diante da disponibilidade dos participantes no Colégio Pedro II, contamos com a participação de um professor e três alunos, sendo um docente de Biologia, um aluno com baixa visão leve, outro com baixa visão mais restritiva e um aluno participante cego, que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão da pesquisa, permitindo validar o MCT e identificar seus limites e possibilidades, conforme o objetivo geral proposta na pesquisa.

Em função dessas reestruturações, a pesquisa passou a ter características mais qualitativas, com potencial quantitativo em testes com amostras mais extensas, futuramente.

A investigação parte da problemática da educação brasileira, que sempre enfrentou desafios, devido à indisponibilidade de Tecnologias Assistivas (TA) e de qualidade para todos, evidenciando a necessidade de investirmos em recursos educacionais e tecnológicos para pessoas com deficiência visual.

Os critérios de inclusão da pesquisa para os discentes foram:

1. Ser discente com deficiência visual em qualquer especificidade visual, estudante do Colégio Pedro II;
2. Estarem cursando o 1º ao 3º ano do ensino médio no Colégio Pedro II;
3. Compreenderem a idade de 6 até 35 anos, considerando o atraso escolar, caso ocorra;
4. Serão voluntários de forma gratuita;
5. O discente menor deverá tomar ciência e concordar com os termos da pesquisa por meio da assinatura do TALE (Termo de Assentimento Livre) e o seu responsável legal por meio da assinatura do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido).
6. A ciência e concordância com os termos da pesquisa do discente maior de idade será concedida por meio da assinatura do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido).

Para o Docente:

1. Possuir vínculo como docente no Colégio Pedro II;
2. Possuir idade acima de 18 anos;
3. Ser voluntário de forma gratuita;
4. Tomar ciência e concordar com os termos da pesquisa, assinando o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido);
5. Ter o domínio do campo de conhecimento (Matemática, Geografia, História, Ciências, etc.) que esteja representado na interface do protótipo desenvolvido como prova de conceito na pesquisa.

Os critérios de exclusão para os discentes foram:

1. Não atenderem a quaisquer requisitos descritos no critério de inclusão;
2. Possuir múltiplos impedimentos que prejudiquem a utilização do protótipo nos parâmetros definidos pela utilização de cada interface desenvolvida para cada conteúdo acadêmico.

Para o Docente:

1. Não atender a quaisquer requisitos descritos nos critérios de inclusão.

O desenvolvimento do MCT (objetivo específico 01) e a construção das interfaces experimentais (objetivo específico 02) apresentaram uma abordagem exploratória e descritiva e em buscas conceituais em bases acadêmicas.

Por sua vez, as etapas de validação (objetivo específico 03) e avaliação (objetivo específico 04) adotaram métodos qualitativos, que valorizaram as opiniões dos participantes e quantitativos, ao permitirem a atribuição de notas às funcionalidades e às características do modelo do MCT.

A pesquisa incluiu a observação não participante para registrar o tempo de uso do protótipo por cada um dos alunos com deficiência visual.

Assim, os participantes assumiram um papel protagonista na construção de uma TA que beneficiou o processo de ensino e de aprendizagem dos alunos, facilitando a prática docente na promoção de uma educação mais inclusiva, contribuindo para o sucesso acadêmico de todos.

Na coleta de dados, utilizamos entrevistas livres gravadas, que possibilitaram a interação direta com os participantes voluntários, especialmente, no processo de prototipagem evolutiva dos protótipos e nos questionários com perguntas fechadas e/ou abertas, que foram encaminhados ao professor participante por e-mail e apresentados, verbalmente, aos alunos.

Esses instrumentos reuniram os dados qualitativos e quantitativos para avaliarmos as funcionalidades e características do modelo, identificando os limites e possibilidades do MCT no ambiente prático de campo.

Para todo o material produzido, destinaremos à comunidade científica, sendo divulgado em eventos acadêmicos e em publicações. Os registros

fotográficos seguirão protocolos que garantam o anonimato dos participantes, focando na captação do uso do mapa tátil como estratégia educacional, sem a identificação dos participantes da pesquisa.

As entrevistas foram gravadas somente após o consentimento prévio dos participantes. Todos os envolvidos ou seus responsáveis, no caso dos menores, foram informados dos termos da pesquisa por meio da leitura e assinatura dos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e/ou Termo de Assentimento (TALE). Caso algum participante tenha dificuldade para compreender algum dos documentos, o pesquisador deve realizar a leitura integral para assegurar o entendimento pleno dos termos que envolveram a pesquisa.

A pesquisa em campo não apresentou nenhum desconforto a seus participantes, pois planejamos a atuação, minimizando os riscos, garantindo um ambiente confortável, personalizado e seguro, conforme as diretrizes da Resolução do Conselho Nacional de Saúde (CNS) n.º 510/2016.

Atenuamos os riscos, por meio da elaboração dos questionários e roteiros de entrevista de forma técnica e direta, valorizando as opiniões dos participantes.

Dessa forma, os participantes da pesquisa foram protagonistas nesse processo, contribuindo para a criação de um ambiente de pesquisa produtivo e seguro.

Após o consentimento dos participantes, explicamos o conceito do MCT e sua implementação nos mapas táteis, que já são, amplamente, utilizados como estratégia de tecnologia assistiva educacional.

Essas abordagens proporcionaram maior conforto e confiabilidade no uso dos recursos durante a pesquisa de campo.

Nos itens seguintes, detalhamos os procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento do conceito do MCT, na elaboração das provas de conceito, na validação dos modelos e na avaliação dos limites e das possibilidades da Modelagem Computacional Tátil em apoiar ao ensino e à aprendizagem de pessoas com deficiência visual em qualquer área do conhecimento.

5.1 A Modelagem Conceitual Computacional Tátil – MCT

Elaborar o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT) é o primeiro objetivo específico da pesquisa que consistiu na aplicação da metodologia da bissociação, conforme a teoria de Arthur Koestler (1964).

Segundo o autor, a bissociação é um processo em que a criatividade surge ao combinarmos elementos de dois ou mais “contextos de pensamento” diferentes, produzindo algo novo e único, isto é, conectam-se duas ou mais “matrizes” (contexto de pensamento) distintos, objetivando a geração de um “salto criativo”, momento em que ocorre a bissociação, isto é, a fusão das ideias de diferentes contextos.

Na teoria de Koestler (1964) a criatividade é “um ato de criação decorrente de processos conscientes e inconscientes, visando uma descoberta científica, originalidade artística e inspiração cômica” (p. 21). Melhor explicando:

Na ciência, a criatividade poderia ser descrita como a arte de somar dois mais dois e obter cinco. Em outras palavras, consiste em combinar estruturas mentais, anteriormente, não relacionadas, de tal maneira que se obtém do todo resultante algo mais do que foi nele posto (Koestler, 1981, p. 145).

Integramos a teoria da bissociação de Koestler (1964) com a sistematização do processo criativo defendida por Graham Wallas (1926), cujo autor as definiu em quatro etapas básicas para o desenvolvimento do processo criativo, são elas: preparação, incubação, iluminação e verificação.

A fusão da bissociação de Koestler (1964) com o processo criativo de Wallas (1926) nos possibilitou estruturarmos o desenvolvimento conceitual da Modelagem Computacional Tátil (MCT) de forma mais fluida e criativa.

A bissociação explica como as ideias inovadoras surgem da combinação de diferentes áreas do conhecimento (O que chamamos de Modelagem conceitual de cada conceito selecionado para ser somado à modelagem resultante do MCT, Koestler (1964) nomeia esse processo de “matrizes”), enquanto as quatro etapas de Wallas (1926) nos orientou, estruturalmente, com o processo criativo de maneira muito mais prática, desde a preparação até a última etapa da verificação e o aprimoramento evolutivo da Modelagem Computacional Tátil, propriamente, dita.

Aplicamos a bissociação de Koestler (1964) por meio das quatro etapas de Wallas (1926) para desenvolver o processo criativo que resultou na Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

Nos itens posteriores, relacionamos a metodologia em que aplicamos as quatro etapas de Wallas (1926).

5.1.1 A primeira etapa: preparação e identificação das matrizes

Na “**Preparação**” (primeira etapa de Wallas), coletamos os requisitos necessários para dominar os diferentes conceitos envolvidos na modelagem do MCT em foco no objetivo geral da pesquisa.

Em conjunto com a etapa de preparação, a bissociação iniciou-se, com a “**Identificação das matrizes**” (primeira fase de Koestler) que foram analisadas e compreendidas para o desenvolvimento da solução criativa, sendo a modelagem em cada um dos conceitos, que resultaram na Modelagem Computacional Tátil num propósito de uma integração criativa desses conceitos.

O conceito de Modelagem Computacional Tátil, o MCT, partiu da pesquisa de mestrado de Silva Junior (2018), que teve como objetivo a criação de um produto educacional e computacional do CEMT (Computação Embarcada em Mapas Táteis) que embarcado em um mapa tátil garantiu uma maior qualidade ao ensino e mais autonomia aos estudos dos discentes ouvintes com deficiência visual.

No desenvolvimento do conceito de Modelagem Computacional Tátil, o MCT (**objetivo específico 01**), além do estado da arte, entendemos que a pesquisa possui características exploratória e descritiva ao apresentarmos as seis matrizes concebidas a partir da pesquisa de mestrado, sendo uma base estendida para a pesquisa de doutoramento.

Em atendimento a esta primeira etapa de Wallas, identificamos ao longo da pesquisa de mestrado os requisitos conceituais que foram elegíveis como matrizes em atendimento do objetivo geral da pesquisa de doutoramento.

Na primeira matriz, temos a teoria de Corn (1989) que fundamentou a pesquisa com os requisitos das três dimensões da visão funcional que tratou da modelagem conceitual das especificidades da deficiência visual, somadas aos

requisitos da deficiência visual congênita e adventícia incluindo a cegueira e a baixa visão.

Na segunda matriz, que tratou da modelagem conceitual da neuroplasticidade na deficiência visual, identificamos na pesquisa de Silva Junior (2018) quais foram os sentidos que devem ser estimulados na falta da visão ou na visão prejudicada que poderiam compor ao MCT na adição da funcionalidade de mapas táteis multissensoriais de uma forma eficiente em apoio ao ensino e à aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

Na terceira matriz da modelagem conceitual das tecnologias assistivas, identificamos na pesquisa de Silva Junior (2018) qual seria o melhor recurso de tecnologia assistiva a ser incorporado ao MCT que pudesse ser desenvolvido como a interface interativa com os usuários, no sentido que atendesse as demandas do professor em sua prática docente e as pessoas com deficiência visual como educandos.

Na quarta matriz da modelagem conceitual do *design* dos objetos empregamos a teoria de Gibson (1979) desenvolvida e aplicada por Norman (2006) por meio da pesquisa desenvolvida por Silva Junior (2018) em busca dos melhores requisitos de *design* para a criação do MCT que atendesse as demandas dos docentes e dos discentes.

Na quinta matriz da modelagem conceitual da interação com os objetos, teoria desenvolvida por Jean Piaget (1971), que defende a criação de “Sistemas de Esquemas” no sentido de promover um diálogo dinâmico entre o ser e o objeto de forma interativa, neste sentido, buscamos por recursos que permitiu a interação entre os alunos com deficiência visual e o MCT.

Na sexta e última matriz da modelagem conceitual computacional, aproveitamos os requisitos já consolidados na pesquisa de Silva Junior (2018) que foram a plataforma de desenvolvimento, componentes eletrônico, sensores táteis e a reprodução do áudio; a computação embarcada; a prototipagem evolutiva e a Internet das coisas.

Adicionamos os recursos computacionais da Interface Homem Computador (IHC) com o intuito de desenvolvimento do firmware que pudesse ser mais agradável aos usuários do sistema (docentes e discentes).

Desenvolvemos no MCT a teoria de Engelbart (1962), ao defender que os sistemas computacionais devem funcionar como extensões das capacidades intelectuais humanas.

O autor definiu que as máquinas não devem somente automatizar as tarefas, mas potencializar a capacidade humana de resolver problemas complexos, organizando e gerenciando informações de forma eficiente.

Utilizamos no desenvolvimento do *firmware* do MCT a Prototipagem Iterativa, defendida pelo autor, na criação dos protótipos (mesmo que de baixa qualidade) para testar ideias, possibilidades e obter feedback rápido dos docentes e discentes que foram os participantes da pesquisa de campo.

O pesquisador aplicou a técnica da observação nos usuários ao usarem o sistema do MCT no sentido de buscar por requisitos que permitissem que a interface evoluísse de forma a suportar as interações e ampliar as capacidades do usuário ao interagir com o sistema computacional.

Aplicamos ao MCT uma interface interativa que permitiu aos usuários colaborar e interagir com sistemas de forma intuitiva, facilitando a descoberta e o uso de conhecimento desse sistema.

A teoria do autor contribuiu para que o MCT desenvolvesse um *firmware* que pudesse ser uma extensão e amplificação das capacidades humanas, orientando a criação da interface de configuração do sistema mais centradas nos usuários docentes e discentes.

Ainda na sexta matriz, adicionamos a técnica de impressão em 3D e do corte a laser CNC em busca de requisitos que permitiram ao MCT desenvolver as interfaces interativas de forma mais escalável e menos artesanal com o baixo custo de insumos e de tempo, por se tratar de técnicas de prototipagem mais eficientes.

O estudo sobre as seis matrizes foram mais aprofundados por meio das buscas nas bases acadêmicas nos periódicos da capes sobre cada uma das temáticas, encorpando a fundamentação teórica na pesquisa de doutoramento no sentido de entregar, como resultado, todos os requisitos necessários para conhecermos o nosso público alvo e, também, em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

Assim, temos que na primeira etapa de Wallas (Preparação) e a primeira fase de Koestler (identificação e assimilação das matrizes de pensamento) são

complementares, enquanto Wallas enfatiza a necessidade de adquirir e organizar informações de forma consciente e sistemática, Koestler destaca a importância de reconhecer os diferentes contextos conceituais que, uma vez conectados, inovam na construção de um novo conceito.

Ambas as abordagens visaram a identificação do ponto de partida para o processo criativo, fornecendo os insumos e a estrutura que possibilitaram o surgimento de novos *insights* e soluções inovadoras no transcorrer do desenvolvimento conceitual da Modelagem Computacional Tátil, avançando com as etapas mais superiores, seguindo a teoria de Wallas.

5.1.2 A segunda etapa: incubação e conexão inconsciente

Em seguida, desenvolvemos a “**Etapa da Incubação**” (segunda etapa de Wallas) que consistiu na interligação das ideias e dos conceitos coletados, conectando-se de forma não consciente, nesta fase, analisamos as relações entre as matrizes apresentadas nos resultados da primeira etapa por meio do item 6.1.1.

Assim, a bissociação passa pela “**Conexão inconsciente**” (segunda fase de Koestler) se tornando mais centralizada de forma que os requisitos das matrizes vão sendo relacionados de uma maneira nova e criativa, sem que o desenvolvedor perceba conscientemente.

Atualmente, os elementos das seis matrizes distintas são interconectados, mas de forma não linear, pois as ideias desconexas começam a convergir entre si.

5.1.3 A terceira etapa: iluminação e *insight* criativo

O momento da “iluminação”, descrito por Wallas, se alinha ao *insight* da bissociação de Koestler, sendo definido, basicamente, como a interseção entre as diferentes seis matrizes identificadas no item 6.1.1 ao ponto de resultarem em um conceito inovador, já o *insight* é o “salto criativo” que Koestler descreve como a essência da criatividade.

Nesta fase, as seis matrizes foram relacionadas de forma a resultarem no conceito da Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

5.1.4 A quarta etapa: verificação e refinamento do conceito

Nesta última etapa, o conceito de Modelagem Computacional Tátil foi testado, refinado e implementado por meio do desenvolvimento do *hardware* (parte eletrônica e o invólucro do MCT) e do *firmware* que compõe a infraestrutura computacional do computador tátil que monitora os sensores táteis do sistema, executa a reprodução da audiodescrição dos conteúdos acadêmicos e acessa os arquivos de áudio localmente ou via repositório na Internet.

Utilizamos no desenvolvimento do *firmware* do MCT a Prototipagem Iterativa, defendida por Engelbart (1962), na criação de protótipos do *hardware* do MCT para testar ideias e obter *feedback* rápidos em testes das interfaces, características e funcionalidades do computador tátil e a integração com os outros componentes eletrônicos relacionados com o sistema.

A teoria de refinamento do conceito de Koestler reconhece que a criatividade depende da capacidade de se traduzir a ideia em algo mais prático, correspondendo a etapa de verificação de Wallas.

A metodologia conceitual da Modelagem Computacional Tátil, também, envolveu o desenvolvimento de protótipos que, por meio das interfaces e provas conceituais do MCT, permitiram que os usuários reais, professores e alunos com deficiência visual, pudessem contribuir com *feedbacks* para a evolução da tecnologia.

Após aplicarmos as etapas de Wallas e as fases definidas por Koestler, desenvolvemos o conceito de Modelagem Computacional Tátil.

Com base na identificação das seis matrizes e em seus respectivos recursos, foi possível implementar o *hardware* e o *firmware* que compõem a arquitetura eletrônica e computacional do MCT.

Em seguida, desenvolvemos as interfaces temáticas, provas de conceito aplicadas em campo na pesquisa.

5.2 A prototipação das provas conceituais do MCT

Com a prontificação do primeiro objetivo específico da pesquisa, que foi a estabelecer o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT) por meio da implementação do *hardware* e do *firmware* que integra a arquitetura eletrônica e

computacional do MCT, o desenvolvimento do computador tátil, o próximo passo foi desenvolver os protótipos iniciais evoluídos por meio da teoria de Pressman (2011) no processo de investigação em campo, a prototipagem evolutiva, metodologia aplicada ao segundo objetivo específico da pesquisa.

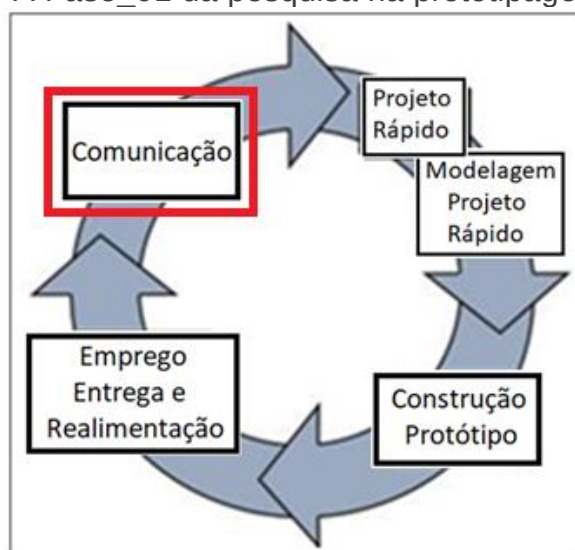
Este objetivo foi dividido em duas fases, a primeira consistiu na definição do conteúdo acadêmico a ser trabalhado pela interface interativa do MCT e a segunda, o desenvolvimento dessa interface por meio da prototipagem evolutiva.

5.2.1 A FASE_01 da pesquisa – A definição da interface

Nesta fase, a pesquisa contou com o professor participante da unidade de Niterói do Colégio Pedro II para definir as temáticas das interfaces controladas pelo MCT.

O pesquisador iniciou um diálogo com o docente, que resultou na escolha dos temas a serem explorados, na fase da “comunicação”, Figura 41.

Figura 41 – A Fase_01 da pesquisa na prototipagem evolutiva.



Fonte: Adaptado de Pressman (2011, p.63).

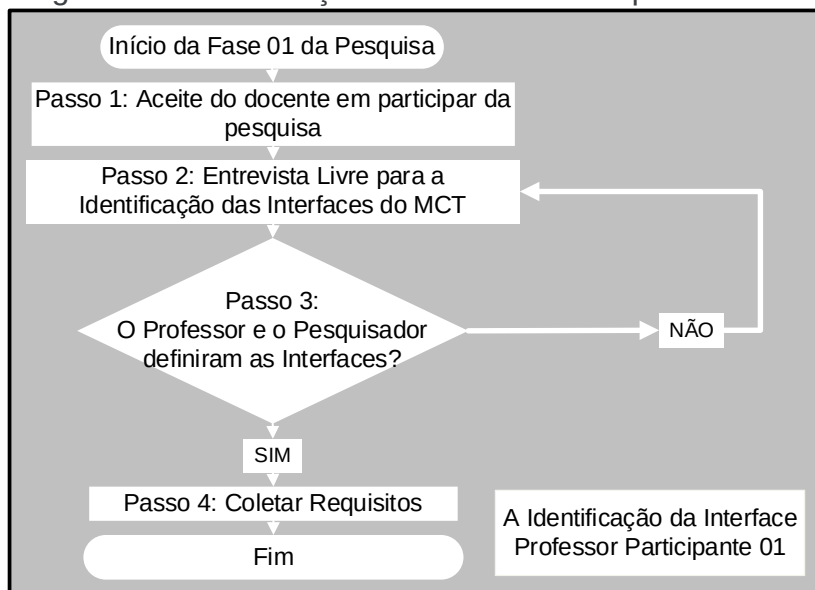
Nesta etapa inicial, estabelecemos um diálogo intenso com o professor participante para identificar e compreender os requisitos iniciais do sistema, sendo o momento para coletar as informações sobre as expectativas, necessidades e restrições do sistema. A comunicação clara e eficiente evita mal-entendidos e forma a base para as etapas subsequentes, garantindo que todos os envolvidos compartilhem uma visão comum do projeto.

A **FASE_01** da pesquisa de campo deu início a prototipagem evolutiva de Pressman (2011), na fase da “comunicação”, que consistiu em diálogos com o docente participante 01, em busca dos requisitos iniciais que permitiu o desenvolvimento do projeto rápido do protótipo.

A principal motivação desta entrevista foi a de definir quais seriam as duas temáticas nas quais o discente com deficiência visual teria mais dificuldades em assimilar na matéria abordada por esse docente, no sentido de defender a teoria de que com o MCT, poderemos trabalhar diversos conteúdos, facilitando o processo de ensino e aprendizagem no que diz respeito à prática docente e no desafio para o discente em estudar um determinado assunto, mesmo com as dificuldades impostas pelas barreiras sensoriais.

A temática da interface experimental será definida em conjunto com esse docente, conforme apresentado no fluxograma da Figura 42.

Figura 42 – A Definição das Interfaces Experimentais.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A definição das interfaces pelo docente em passos, são eles:

- **Passo 1:** O docente tomou ciência e concordou com os termos da pesquisa;
- **Passo 2:** O pesquisador entrevista o docente mediante entrevista livre para definir quais seriam as duas temáticas da interface experimental a serem desenvolvidas, utilizando as técnicas do MCT;

- **Passo 3:** As interfaces experimentais foram definidas?
- **Caso NÃO:** Retorna-se ao passo 2. A entrevista livre foi reiniciada na tentativa de se definir as melhores temáticas para o desenvolvimento da interface experimental para o MCT;
- **Caso SIM:** O passo 4 foi executado, o pesquisador coleta os requisitos necessários para o desenvolvimento das interfaces experimentais propostas.

Nesta fase da pesquisa, foram definidos os temas das provas de conceito, por meio da participação de somente um docente na aplicação de uma entrevista livre.

Roteiro da entrevista livre de definição da interface: Solicitamos a permissão do docente para o envio de um e-mail para a coleta dos requisitos, após a sua ciência e a assinatura do TCLE.

Pergunta 1: Professor(a) <nome do professor>, primeiramente, o(a) senhor(a) nos autoriza o envio de e-mails para a coleta de requisitos que serão, basicamente, algumas perguntas e com respostas livres?

Pergunta 2: Professor(a) <nome do professor>, agradecemos pelo seu tempo e sua dedicação em investir na pesquisa, pergunto se o senhor entendeu todos os termos contidos no TCLE e se teria restado alguma dúvida ou lhe faltou algum esclarecimento?

Pergunta 3: Professor(a) <nome do professor>, deixamos claro que a pesquisa é de caráter voluntário sem qualquer remuneração e todos os participantes poderão não mais participarem em qualquer fase da pesquisa, e que não existe a obrigatoriedade de se responder a qualquer uma das perguntas. O(a) senhor(a) concorda com os termos de participação?

Introdução à Pergunta 4: A pesquisa se propõe a validar um protótipo educacional que aplica as técnicas desenvolvidas por meio de um conceito de modelagem computacional tátil, que chamamos de MCT. Ele é composto por diversos módulos eletrônicos controlados por meio de um *software* de computador que gerencia diversos sensores táteis. Cada um desses sensores foi relacionado a um símbolo tátil que estará contido em um mapa tátil utilizado como a interface do sistema (assim como o usuário interage com o monitor, teclado e mouse de um computador). A proposta desse sistema é a de propiciar

uma interação bem fluída entre o aluno e o mapa tátil, na forma em que, o aluno interage com o tato e o sistema responde com as características, em áudio, daquele símbolo tátil tocado pelo aluno, assim, esperamos que o aluno consiga acompanhar e compreender a divisão estruturada e distribuída do conteúdo representada por esse mapa tátil. O número de sensores depende muito da quantidade de símbolos táteis que seriam necessários para que o aluno com deficiência visual tenha plenas condições de estudar uma determinada temática educacional com eficiência.

Pergunta 4: Nesta fase da pesquisa, definimos quais seriam as temáticas abordadas como interface do MCT, isto é, quais foram os conteúdos empregados no mapa tátil a ser desenvolvido, utilizando as técnicas do MCT. Em sua opinião, quais seriam os conteúdos que o(a) senhor(a) costumam lecionar para os alunos com deficiência visual de difícil entendimento para eles?

Objetivo da entrevista: A partir das respostas do docente, o pesquisador, acordou e definiu com o mesmo, as duas temáticas abordadas pelo mapa tátil do MCT a serem desenvolvidas na próxima fase da pesquisa de campo.

Encerramento da Entrevista: Obrigado professor(a) <nome do professor>, encerramos a entrevista e definimos as temáticas <nomes das temáticas escolhidas>, para a construção do mapa tátil que foram a interface do MCT. Assim que conseguirmos desenvolver as primeiras versões desses mapas táteis, iremos iniciar a segunda fase da pesquisa, que foi por meio da prototipagem evolutiva (melhoria) do mapa tátil experimental até que o mesmo seja validado pelo(a) senhor(a).

Pergunta 5: Professor(a) <nome do professor>, o(a) senhor(a) nos autoriza mantermos contato via e-mail e por celular para futuras conversas sobre a pesquisa?

Após coletarmos os requisitos iniciais e a autorização de contato do docente, finalizamos a primeira fase da pesquisa de campo com a definição das duas temáticas empregadas nas provas de conceito do MCT que foram as interfaces experimentais utilizadas pelo modelo do MCT.

No próximo item, iniciamos a segunda fase da pesquisa de campo, em atendimento ao segundo objetivo da pesquisa.

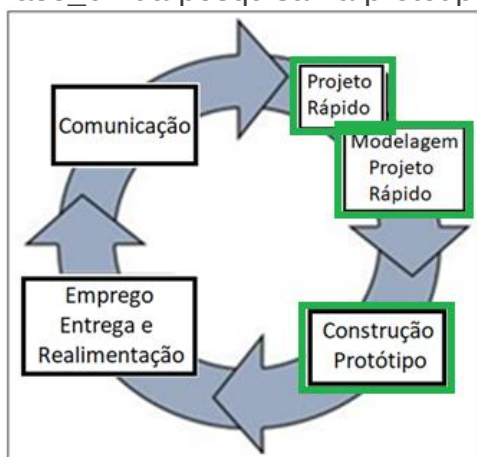
5.2.2 A FASE_02 da pesquisa de campo — As provas de conceito

A **Fase_02** somente foi iniciada após a conclusão da **Fase_01** da pesquisa, conforme definido por Pressman (2011), Figura 43, pois a prototipagem evolutiva é um ciclo composto por cinco etapas em que iniciamos com a comunicação para a coleta dos requisitos iniciais de sistema com os seus futuros usuários, desenvolvemos um projeto rápido que foi modelado para a construção de um protótipo experimental que, posteriormente, é entregue aos usuários do sistema para uso, testes e validação.

Caso esse protótipo não seja validado, um novo ciclo de prototipagem é iniciado, com novos requisitos, reiniciado, repetidamente, até que o protótipo experimental seja validado como um produto por esses usuários.

Na **Fase_02**, com as informações obtidas na fase de comunicação (**Fase_01**), desenvolvemos uma versão inicial do sistema mais ágil por meio do projeto rápido, Figura 43, que foi construído por meio de modelos em 3D pesquisados na Internet em atendimento aos componentes mais essenciais em uma estrutura da modelagem, como um projeto básico, sem detalhes minuciosos, possibilitando uma modelagem rápida das ideias, para os envolvidos validarem os conceitos básicos antes de se investir tempo em versões mais detalhadas.

Figura 43 – A Fase_02 da pesquisa na prototipagem evolutiva.



Fonte: Adaptado de Pressman (2011, p.63).

Na modelagem do projeto rápido, Figura 43, refinamos os conceitos do projeto rápido por meio de modelagens mais detalhadas, definindo os aspectos

como a arquitetura da interface do sistema, os símbolos táteis, os fluxos de dados e outros, melhorando a estrutura, identificando os pontos de melhoria antes de construir o protótipo.

Para a construção do protótipo, Figura 43, nos baseamos nos modelos refinados, essa etapa transforma as ideias, das seis matrizes conceituais modeladas pelo conceito do MCT, aplicados aos modelos básicos em um sistema funcional, embora ainda simplificado.

O protótipo permite a visualização prática do produto, facilitando a identificação de problemas e a verificação se os requisitos estão sendo atendidos, funcionando como um laboratório para experimentação e ajustes contínuos, pois o ciclo de prototipagem é, repetidamente, reiniciado.

Nesta fase de construção do protótipo, desenvolvemos as interfaces experimentais, conforme o modelo conceitual do MCT, incorporando o estado da arte para a elaboração de mapas táteis e aplicando as estratégias e as técnicas definidas na modelagem conceitual elaborada no primeiro objetivo da pesquisa.

As primeiras versões dos protótipos temáticos educacionais, chamados de interfaces experimentais, foram desenvolvidas, utilizando os requisitos e as estratégias mapeadas pelas seis matrizes que formaram o conceito de modelagem do MCT.

Após o desenvolvimento das interfaces experimentais, apresentamos as primeiras versões ao professor participante validada em campo, assim, concluímos o segundo objetivo específico da pesquisa com o término da **FASE_01** e da **FASE_02** da pesquisa de campo.

5.3 O desenho da validação do MCT em campo

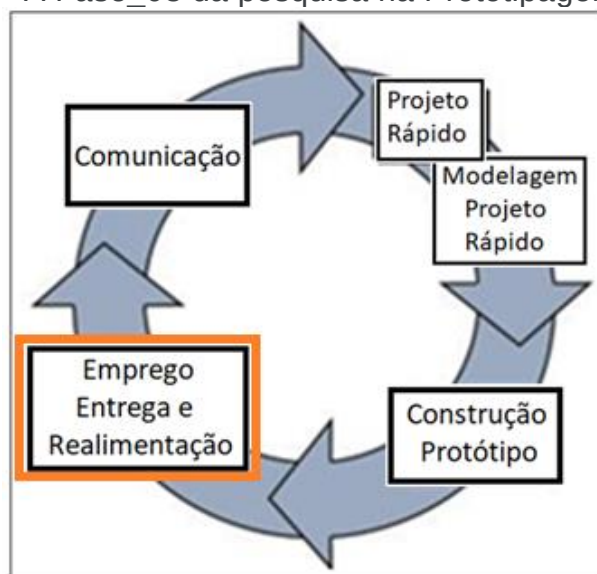
Ao iniciarmos o terceiro objetivo específico da pesquisa, necessitamos ter concluído com sucesso a criação das interfaces experimentais concebidas por meio do projeto rápido, modelagem desse projeto rápido e a construção do protótipo, que chamamos de interfaces experimentais até que o protótipo experimental seja validado pelo professor participante e pelos alunos com deficiência visual, conforme definido pela pesquisa.

Apresentamos no próximo item, o processo que envolveu a validação das interfaces experimentais do MCT pelo docente participante 01.

5.3.1 A FASE_03 na pesquisa – A validação docente

Nesta fase, validamos as interfaces experimentais por meio das entrevistas livres gravadas com o docente participante, seguindo a metodologia da prototipagem evolutiva de Pressman (2011), Figura 44, incorporamos as sugestões de melhorias apresentadas pelo docente até que as interfaces experimentais fossem validadas.

Figura 44 – A Fase_03 da pesquisa na Prototipagem evolutiva.



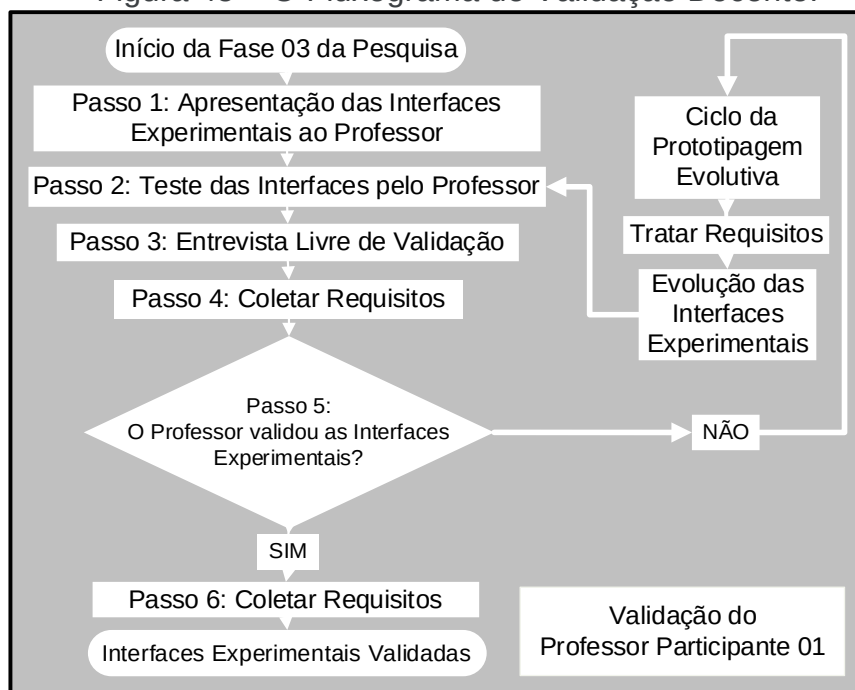
Fonte: Adaptado de Pressman (2011, p.63).

Nesse ciclo, na etapa de emprego, entrega e realimentação, Figura 44, realizamos a testagem das interfaces experimentais com o docente e para cada oportunidade de melhoria, promovemos um novo ciclo evolutivo no desenvolvimento das interfaces experimentais até que a interface fosse validada pelo docente de forma a atender as demandas dos discentes e dos próprios docentes no processo de ensino e aprendizagem.

No processo da prototipagem evolutiva, promovemos uma comunicação com o professor participante, recebemos e tratamos os requisitos apresentados sobre as interfaces experimentais e com os novos requisitos, implementamos as melhorias nas interfaces, realizando uma modelagem de projeto rápido e a nova implementação é apresentada ao participante por meio de uma nova versão de interface experimental até que o professor aprove as modificações, validando o sistema por completo, Figura 44 e Figura 45.

A Figura 45 ilustra o fluxograma que apresenta o *design* da **FASE_03** que consiste na validação das interfaces experimentais pelo docente participante.

Figura 45 – O Fluxograma de Validação Docente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A validação das interfaces experimentais pelo docente em passos, são eles:

- **Passo 1:** As duas Interfaces Experimentais foram apresentadas ao Docente, pelo pesquisador, sendo explicado todo o seu princípio de funcionamento;
- **Passo 2:** O docente deve analisar as interfaces experimentais, de forma que, o mapa tátil atenda as demandas do estudo temático na DV;
- **Passo 3:** O pesquisador, em uma entrevista livre, pergunta ao docente o que podemos evoluir nas interfaces experimentais;
- **Passo 4:** O pesquisador registra todos os requisitos, gravando os depoimentos do participante;
- **Passo 5 – SIM:** O pesquisador analisa os requisitos e caso o participante tenha aprovado a proposta sem propor nenhuma oportunidade de melhoria as interfaces experimentais estão validadas pelo docente;

- **Passo 5 – NÃO:** O pesquisador analisa os dados e caso o participante tenha proposto sugestões de melhoria, que tenham viabilidade de serem realizadas, concluiremos que as interfaces experimentais não foram validadas;
- **Caso NÃO:** O processo de prototipagem evolutiva é iniciado, o pesquisador analisa como o requisito poderá ser atribuído à interface experimental, promove a evolução das interfaces experimentais e uma nova análise deve ser realizada pelo participante;
- **Caso SIM:** O passo 6 será executado, o pesquisador coleta os requisitos, o participante informa que não existe mais nenhuma possibilidade de melhoria e as interfaces experimentais são validadas.

Nesta fase, o pesquisador deve promover um próximo encontro com o docente participante, que definiu a temática da interface do MCT para a realização do processo de validação das interfaces experimentais por meio do questionário de validação docente.

Roteiro da entrevista livre de validação docente: Solicitaremos a permissão do docente para a gravação da entrevista de validação. Ele já assinou o TCLE na primeira fase da pesquisa.

Pergunta 1: Professor(a) <nome do professor>, primeiramente, o(a) senhor(a) nos autoriza a gravação desta entrevista de validação que será conduzida com a utilização e análise das interfaces experimentais e algumas perguntas e com respostas livres?

Introdução à Pergunta 2: Após definir a temática das interfaces, construímos a primeira versão das interfaces e iremos avançar para a terceira fase da pesquisa que será a de validação, o(a) senhor(a) deve analisar o MCT em atendimento às demandas educacionais do discente e opinar sobre o seu funcionamento apontando as possíveis sugestões de oportunidades de melhorias.

Pergunta 2: O(A) senhor(a) analisou o protótipo do MCT com a temática <nome da temática>, quais foram as suas impressões sobre o funcionamento do MCT?

Pergunta 3: Quais seriam as oportunidades de melhorias que o(a) senhor(a) gostaria de sugerir, no sentido de que aumente a usabilidade ou a experiência do discente em relação à utilização deste mapa tátil nos estudos da temática proposta?

Objetivo da entrevista: A partir das respostas do docente, o pesquisador, deve registrar todas as oportunidades de melhorias que serão utilizadas para evoluir as interfaces experimentais.

Encerramento da Entrevista de validação docente: Obrigado professor(a) <nome do professor>, encerramos a entrevista e definirmos as oportunidades de melhoria, entraremos em contato para apresentar o que foi possível ser evoluído e iniciaremos uma nova entrevista de validação e o processo se repete até que não seja mais apresentada alguma oportunidade de melhoria às interfaces experimentais.

Após algumas entrevistas de validação e desde que o professor não apresente mais qualquer oportunidade de melhoria, poderemos finalizar esta fase com a última pergunta de validação.

Pergunta de Validação: Professor(a) <nome do professor>, o(a) senhor(a) valida as interfaces experimentais para ser testado com o discente com deficiência visual?

Pergunta para Convite de participante: Professor(a) <nome do professor>, necessitamos iniciar a **Fase_04** da pesquisa que consiste na validação das interfaces experimentais pelo discente com deficiência visual. Dentre seus alunos, teríamos um perfil de participante que saiba ler em Braille e que seja uma pessoa de baixa visão de grau leve ou moderado? Em caso de negativo, iremos necessitar de dois participantes um que seja cego e seja fluente em Braille e outro aluno participante que seja de baixa visão de grau leve ou moderado. Esse perfil de participante será importante para podermos analisar e explorar todas as funcionalidades das interfaces experimentais do MCT a validação do discente.

Nem todas as oportunidades de melhorias puderam ser implementadas, seja por limitações tecnológicas, temporais ou orçamentárias, mas cada uma delas foram justificadas, pelo pesquisador, apresentando argumentos sobre a impossibilidade de sua viabilidade, dada pelo fator tempo de desenvolvimento

do sistema, por limitações de desenvolvimento de *software* ou de *hardware* ou por qualquer outra questão.

O docente deve conseguir validar todos os componentes e funcionalidades das interfaces experimentais, inclusive opinar e corrigir sobre os conteúdos expostos pelo sistema por meio das audiodescrições correlacionados com cada um dos símbolos táteis dispostos nas interfaces experimentais.

Esta fase foi concluída quando o docente validou as interfaces experimentais, não propondo nenhuma outra oportunidade de melhoria e julgar que o sistema está apto para ser validado pelo discente com deficiência visual.

No próximo item, seguiremos com o processo de validação das interfaces experimentais por meio das oportunidades de melhoria propostas pelos alunos com deficiência visual.

5.3.2 A FASE_04 na pesquisa – A validação discente

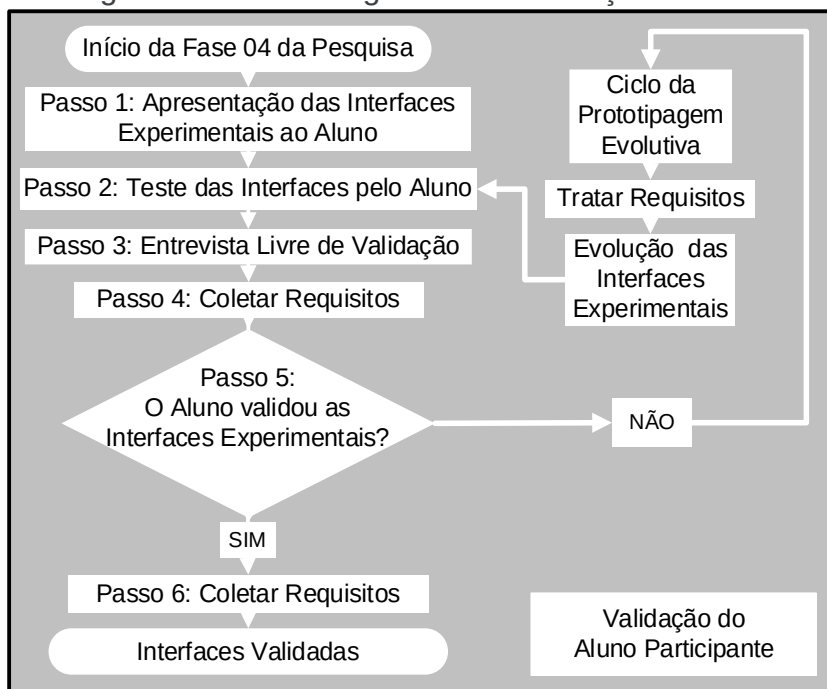
Esta fase somente poderá ser iniciada após a validação docente das interfaces experimentais.

Conforme definida pela matriz conceitual das especificidades da deficiência visual, que apresenta diferentes níveis de comprometimento visual em pessoas de baixa visão, que são leves, moderados ou severos, além da condição da cegueira, tanto congênita quanto adventícia.

Em atendimento a metodologia da pesquisa, solicitamos ao professor participante que indicasse um grupo de alunos com deficiência visual, contemplando diferentes níveis de comprometimento, a fim de que validassem as interfaces experimentais em todas as suas características e funcionalidades, assegurando que as especificidades da deficiência visual fossem plenamente consideradas na validação das duas interfaces.

Na Figura 46, apresentamos o fluxograma de validação da interface experimental realizada pelo discente com deficiência visual.

Figura 46 – O Fluxograma de Validação Discente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Assim como realizado na validação docente, na validação discente, também, utilizamos o ciclo de prototipagem e na etapa de emprego, entrega e realimentação, o aluno interagiu com as interfaces experimentais e apresentou as suas considerações sobre a usabilidade no sentido de validar esses recursos como uma tecnologia assistiva eficiente na deficiência visual.

Nessa fase, as interfaces experimentais foram validadas pelos discentes em seus requisitos, tais como: os símbolos táteis, a escrita em tinta, as texturas, as cores, as formas, as audiodescrições, o conteúdo acadêmico estruturado e outros recursos que estruturaram as interfaces temáticas do MCT.

A validação das interfaces experimentais pelo discente em passos, são eles:

- **Passo 1:** As interfaces experimentais foram apresentadas ao discente, pelo pesquisador, sendo explicado o seu princípio de funcionamento;
- **Passo 2:** O participante deve testar o protótipo, usando-o da mesma forma que em sala de aula;
- **Passo 3:** O pesquisador, numa entrevista livre, pergunta ao participante o que poderemos evoluir nas interfaces experimentais;

- **Passo 4:** O pesquisador registra todos os requisitos gravando os depoimentos do participante;
- **Passo 5 – SIM:** O pesquisador analisa os requisitos e caso o participante tenha aprovado a proposta sem propor nenhuma oportunidade de melhoria, as interfaces experimentais estão validadas, como uma interface do MCT pelo discente;
- **Passo 5 – NÃO:** O pesquisador analisa os dados e caso o participante tenha proposto sugestões de melhoria, que tenham viabilidade de serem realizadas, concluiremos que as interfaces experimentais não foram validadas;
- **Caso do NÃO:** O processo de prototipagem evolutiva é iniciado, o pesquisador analisa como o requisito poderá ser atribuído às interfaces experimentais, promovendo a evolução das interfaces experimentais e também a um novo teste a ser realizado pelo discente participante;
- **Caso do SIM:** O passo 6 será executado, o pesquisador coleta os requisitos, cujo participante informa que não existe mais nenhuma possibilidade de melhoria e as interfaces experimentais são validadas como uma nova interface do MCT pelo discente.

Nesta fase de validação discente, o pesquisador deverá apresentar os protótipos experimentais validados pelo professor para os alunos com deficiência visual que atenda o perfil de validação.

Roteiro da entrevista livre de validação discente: Solicitamos a permissão do discente para a gravação da entrevista de validação, somente após o seu responsável (em caso de participante menor de idade) ou o próprio, ter dado ciência e assinando o TCLE.

Nesta fase da pesquisa, o docente responsável pelo acompanhamento do pesquisador e/ou o responsável do discente menor de idade nos acompanhou neste processo.

Pergunta 1: Olá, <nome do aluno>, bom dia/boa tarde! Você nos autoriza a gravar esta conversa que será sobre a utilização deste mapa tátil que explica

<nome da temática>, iremos fazer algumas perguntas sobre a sua opinião em ter estudado com esse mapa? Você autoriza a gravação?

Pergunta 2A: Iniciaremos a entrevista de validação discente com a leitura do TALE ou do TCLE para que o discente, menor de idade e/ou cego, possa concordar ou discordar, tomando ciência dos procedimentos aplicados na pesquisa. Após a leitura do TALE e/ou TCLE, perguntamos: Você gostaria de continuar participando da pesquisa? Você concorda com as regras da pesquisa?

Pergunta 2B: No caso de discente maior de idade e leitor, perguntamos: Você leu o TCLE com atenção, assinou e concorda com os termos da pesquisa?

Pergunta 3: <nome do aluno>, deixamos claro que a pesquisa é gratuita, voluntária e sem qualquer pagamento por sua participação e você pode deixar de participar a qualquer momento, e que não é obrigado a responder a qualquer uma das perguntas. Você concorda em participar da pesquisa?

Introdução à pergunta 4: O pesquisador explica ao discente que ele deve utilizar o mapa tátil como se estivesse estudando a matéria proposta. Após o estudo iniciamos as perguntas.

Pergunta 5: Quais seriam as coisas que você gostou nesse mapa?

Pergunta 6: Quais seriam as coisas que você acha que ele não foi bem?

Pergunta 7: Quais seriam as melhorias que você faria nesse mapa que poderia facilitar o seu entendimento sobre a matéria apresentada?

Objetivo da entrevista: A partir das respostas do discente, o pesquisador, deve registrar todas as oportunidades de melhorias utilizadas para evoluir as interfaces experimentais.

Encerramento da Entrevista: Obrigado <nome do aluno> você nos ajudou muito com a sua participação, aplicaremos as melhorias nesse mapa, utilizando todas as suas sugestões e assim que terminar, avisaremos ao(à)

professor(a) <nome do professor que acompanha o pesquisador> para marcarmos uma nova visita para você estudar, outra vez, com esse mapa e verificar se as modificações ficaram boas, se você gostou ou pensou em mais algumas coisas que possam ser melhoradas.

Após algumas entrevistas de validação e desde que o discente não apresente mais qualquer oportunidade de melhoria, perguntaremos a última questão para a validação.

Pergunta de Validação discente: <nome do aluno>, você acha que esse mapa tátil ajudará aos seus colegas a compreenderem melhor essa matéria? Você acredita que este mapa tátil possa ser melhorado em algum ponto?

Caso o discente não identifique nenhuma oportunidade de melhoria, o pesquisador considerará que as interfaces experimentais foram validadas e se, porventura, um discente não conseguir concluir essa etapa devido às barreiras associadas à deficiência visual ou por qualquer outra razão identificada, o pesquisador selecionará outro discente com as especificidades relacionadas à deficiência visual para complementar o processo de validação em campo.

Cada sugestão de melhoria apresentada pelo discente um ciclo de prototipagem evolutiva foi iniciado, permitindo o aprimoramento contínuo das interfaces experimentais.

Esse processo é análogo à validação realizada pelo docente, na qual foram justificadas as demandas inviáveis de implementação e apresentadas as respectivas limitações.

Assim como na validação docente, essa fase somente será considerada concluída quando os discentes com deficiência visual validarem as interfaces experimentais, ou seja, quando não identificarem nenhuma oportunidade de melhorias e concluírem que as interfaces atendem, plenamente, às suas necessidades no contexto proposto.

Vale ressaltar que, durante o processo de validação, inicialmente, realizado pelo docente e, posteriormente, pelo discente, as interfaces foram classificadas como experimentais, visto que está sujeita à evolução por meio da prototipagem evolutiva de Pressman (2011).

Após a validação pelo discente, a interface passa a ser considerada uma nova interface do MCT, pronta para ser avaliada tanto por docentes quanto por discentes participantes.

No próximo item, apresentaremos a metodologia empregada na avaliação das interfaces validadas pelos participantes da pesquisa.

5.4 O desenho da avaliação do MCT em campo

As duas interfaces experimentais da pesquisa foram construídas, aplicando os requisitos entregues pelas matrizes conceituais, resultantes da modelagem conceitual do MCT, que consistiu, também, na aplicação da prototipagem evolutiva de Pressman (2011), finalizando com a validação das interfaces experimentais que se tornaram as interfaces temáticas do MCT.

Nestas fases, **Fase_05** e **Fase 06**, da pesquisa, trataremos as provas de conceitos como interfaces temáticas do MCT que foram as interfaces validadas pelo docente e pelos discentes, durante a aplicação da pesquisa em campo.

A metodologia da **Fase_05** e da **Fase_06** foram estruturadas para a pesquisa entregar, como resultados, os limites e as possibilidades do MCT em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

Nos itens a seguir, apresentaremos a metodologia aplicada na pesquisa de campo que consistiu na avaliação docente e na avaliação dos discentes.

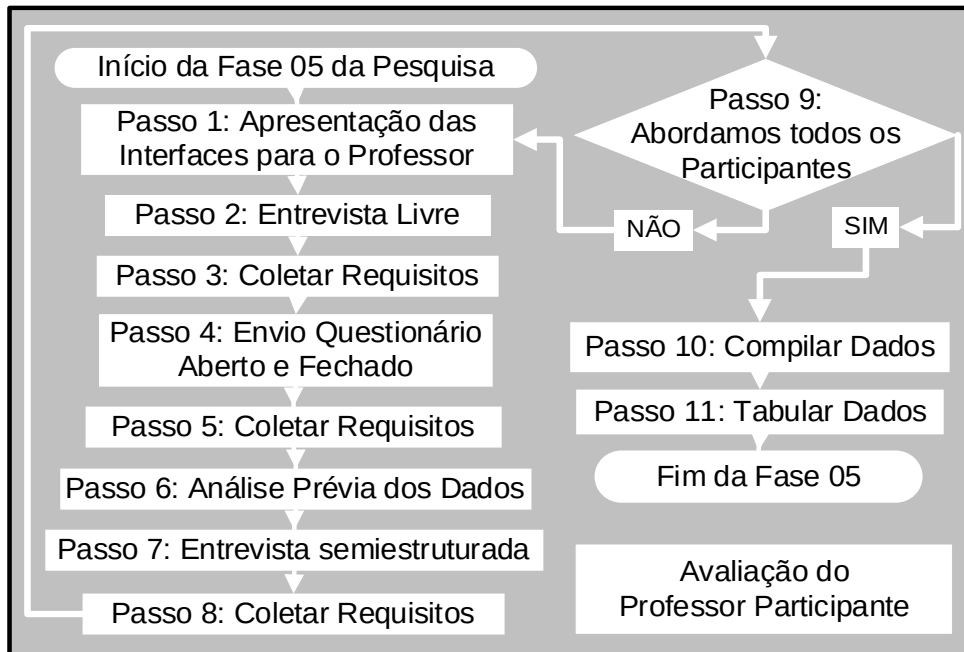
5.4.1 A FASE_05 na pesquisa – A avaliação na visão docente

Esta fase dependeu da conclusão e da entrega dos resultados da **Fase_04**, pois o processo de avaliação somente será iniciado após a conclusão do processo de validação em cada uma das duas provas de conceitos testadas em campo.

Nas duas fases de avaliação não necessitamos obedecer a qualquer hierarquia, neste caso, tanto os participantes discentes quanto o participante docente terão acesso às interfaces validadas na fase anterior.

A estrutura de avaliação das interfaces temáticas do MCT pelo docente foi representada na Figura 47, este ciclo foi finalizado quando o docente participante 01 contribuiu com os requisitos exigidos por esse processo.

Figura 47 – O Fluxograma de Avaliação Docente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A avaliação do MCT pelo docente em passos:

- **Passo 1:** O MCT será apresentado ao Docente Participante, pelo pesquisador, sendo explicado todo o seu princípio de funcionamento. O participante irá interagir com o MCT da mesma forma que o discente usaria em sala de aula;
- **Passo 2:** O pesquisador, numa entrevista livre gravada, perguntou ao participante o que ele achou da proposta do MCT;
- **Passo 3:** O pesquisador registrou todos os requisitos, gravando os depoimentos do participante;
- **Passo 4:** O pesquisador, por meio eletrônico, enviou o questionário aberto e fechado ao participante;
- **Passo 5:** O pesquisador coletou os dados enviados, por meio eletrônico do participante;
- **Passo 6:** O pesquisador realizou uma breve análise dos dados recebidos pelo docente participante, comparando os valores das notas atribuídas ao MCT e identificou os padrões a serem investigados. O principal padrão procurado foram as notas atribuídas às interfaces e ao MCT que forem muito abaixo da média geral; e os padrões nas respostas que tenham fugido às respostas,

anteriormente, entregues pelo participante e/ou respostas que forem consideradas discrepantes pelo pesquisador;

- **Passo 7:** O pesquisador aplicou ao docente participante uma entrevista semiestruturada que foi construída após a análise preliminar dos dados obtidos. Todos os itens que fugiram o padrão, o pesquisador perguntou ao participante o motivo pelo qual, em sua opinião, um determinado item não pôde ser melhor avaliado.
- **Passo 8:** O pesquisador coletou os requisitos, gravando a entrevista semiestruturada.
- **Passo 9 – SIM:** O pesquisador executa o passo 10.
- **Passo 9 – NÃO:** O pesquisador retomou a pesquisa com o próximo docente participante, caso exista, até que todos tenham participado da pesquisa;
- **Passo 10:** O pesquisador compilou os dados da pesquisa, transcrevendo os relatos qualitativos relevantes e organizou os dados quantitativos;
- **Passo 11:** O pesquisador tabulou, organizou os dados qualitativos para a construção dos gráficos que foram um dos resultados da pesquisa.

Nesta fase, as duas interfaces temáticas do MCT foram avaliadas pelo docente participante 01 e para definirmos os limites e as possibilidades do MCT em apoiar os alunos com deficiência visual em seu processo de ensino e aprendizagem, estruturamos um roteiro de entrevista e questionários, Quadro 4 e Quadro 5, que apresentamos a seguir:

Roteiro da entrevista de avaliação do MCT: Solicitamos a permissão do docente para a gravação da entrevista, após a sua ciência e a assinatura do TCLE.

Pergunta 1: Professor(a) <nome do professor>, primeiramente, o(a) senhor(a) nos autoriza a gravação desta entrevista que será conduzida com algumas perguntas e com respostas livres?

Pergunta 2: Professor(a) <nome do professor>, agradecemos pelo seu tempo em investir na pesquisa, pergunto se entendeu todos os termos contidos no TCLE e se teria restado alguma dúvida ou lhe faltou algum esclarecimento?

Pergunta 3: Professor(a) <nome do professor>, deixamos claro que a pesquisa é de caráter voluntário sem qualquer remuneração e todos os participantes poderão não mais participar em qualquer fase da pesquisa, e que não existe a obrigatoriedade de se responder a qualquer uma das perguntas. O(a) senhor(a) concorda com os termos de participação?

Pergunta 4: Professor(a) <nome do professor>, o senhor leciona a quantos anos na educação básica? E na educação especial, atuando na deficiência visual?

Pergunta 5: Quais foram as estratégias mais empregadas e as dificuldades encontradas em desenvolver um processo de ensino e aprendizagem eficiente direcionados aos alunos com deficiência visual?

Introdução à pergunta 6: O docente será convidado a utilizar o MCT como se fosse o aluno na mesma forma em que estivesse estudando a temática proposta. O pesquisador irá perguntar de forma livre.

Pergunta 6: Ao utilizar o MCT no estudo do tema <nome do tema> quais foram as suas percepções?

Pergunta 7: Professor(a) <nome do professor>, O(A) senhor(a) poderia nos informar o seu e-mail para o envio de um questionário aberto e fechado que será encaminhado para ser respondido, posteriormente? Qual seria o e-mail?

Questionário aberto:

Primeira Pergunta: Qual a importância do mapa tátil para o aprendizado das pessoas com deficiência visual?

Segunda Pergunta: Qual a relevância dos sentidos do tato e da audição para os alunos com deficiência visual?

Terceira Pergunta: O que pode proporcionar ao aluno com deficiência visual a soma dos sentidos do tato e de audição em seu aprendizado?

Quarta Pergunta: Quais são os atributos que poderíamos destacar sobre o MCT no sentido de contribuir para o ensino dos alunos com deficiência visual?

Quinta e última Pergunta: O MCT tem potencial para proporcionar mais qualidade no processo de ensino-aprendizagem e autonomia aos estudos dos alunos com deficiência visual? Por quê?

Questionário fechado 1, Quadro 4:

Atribua uma nota de 0 a 10 a cada uma das funcionalidades do MCT

Quadro 4 – Avaliação Docente das Funcionalidades do MCT.

Item	Funcionalidades do MCT	Nota
01	A estrutura na qual o MCT organiza o conteúdo do tema de forma eficiente.	
02	A facilidade do estudante em dominar o tema proposto com o MCT.	
03	A tecnologia empregada no MCT em unir o tato e a audição aos conteúdos do tema de forma simultânea.	
04	O potencial do MCT em ser uma promissora tecnologia assistiva educacional.	
05	A capacidade do MCT em estimular o aprendizado do aluno.	
06	O nível de usabilidade do MCT.	
07	A utilização do MCT como uma proposta pedagógica inovadora.	
08	A utilização do MCT frente aos outros métodos tradicionais já utilizados.	
09	A capacidade do MCT em aumentar a qualidade e a autonomia do aluno em seu processo de ensino e aprendizagem.	
10	Se o MCT estivesse disponível como uma tecnologia educacional, qual seria o seu nível de motivação em utilizá-lo com os seus alunos?	
11	O quanto o MCT facilita o trabalho do docente e facilitar os estudos do discente no processo de ensino e aprendizagem.	

12	O MCT e o seu potencial em promover o ensino EaD de maior qualidade, minimizando as barreiras em tempos de pandemia.	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Questionário fechado 2, Quadro 5:

Atribua uma nota de 0 a 10 a cada uma das características do MCT

Quadro 5 – Avaliação Docente das Características do MCT.

Item	Características do MCT	Nota
01	O acabamento das formas empregadas na interface do MCT.	
02	As tonalidades das cores empregadas na interface do MCT.	
03	A segurança e o conforto em utilizar o MCT como TA educacional.	
04	A qualidade das texturas empregadas na interface do MCT.	
05	A qualidade da escrita em Braille utilizada na interface do MCT.	
06	A qualidade da escrita em tinta utilizada na interface do MCT.	
07	A qualidade da voz configurada no MCT.	
08	A qualidade dos símbolos táteis desenvolvidos na interface do MCT.	
09	A forma de utilizar o MCT nos estudos de um determinado conteúdo.	
10	A forma de conectar o MCT à Internet.	
11	A forma de conectar o MCT em cada uma de suas interfaces temáticas.	
12	A estruturação e apresentação da página web de configuração do MCT.	
13	O conjunto de tecnologias computacionais e pedagógicas empregados no MCT.	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

No caso do docente participante 01 tenha pontuado o MCT bem abaixo da média geral em relação aos outros itens, o pesquisador aplicou a entrevista semiestruturada e registrou o motivo da baixa avaliação deste item, para que se registre o que devemos, na opinião do professor, melhorar no futuro em relação à versão do MCT apresentada.

A pesquisa utilizará o método da avaliação para apontar os limites e as possibilidades do MCT em apoiar os discentes com deficiência visual em seu processo de ensino e aprendizagem e, assim, responder à questão de pesquisa proposta, na opinião dos docentes que participaram da pesquisa desenvolvida em campo.

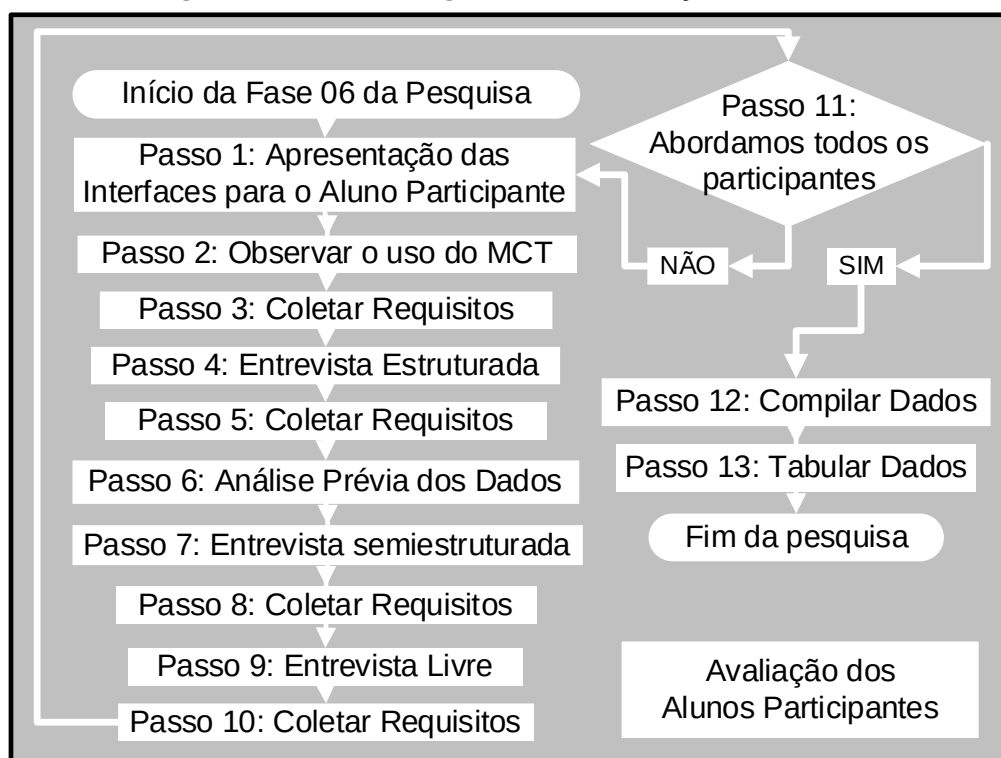
No próximo item, apresentamos a metodologia empregada na validação do MCT na visão dos discentes com deficiência visual que participaram da pesquisa em campo.

5.4.2 A FASE_06 na pesquisa – A avaliação na visão discente

Neste item, avaliamos a interface temática do MCT com o principal público da pesquisa, que são os discentes com deficiência visual.

Esta fase dependeu da conclusão **Fase_04** e pôde ser executada em conjunto com a **Fase_05**. Na Figura 48, apresentamos a estrutura de avaliação das interfaces temáticas do MCT pelos discentes participantes da pesquisa.

Figura 48 – O Fluxograma de Avaliação Discente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A avaliação do MCT pelos Discentes em passos:

- **Passo 1:** O MCT foi apresentado ao discente participante, pelo pesquisador, sendo explicado o princípio de funcionamento. O participante testou e usou o MCT da mesma forma que em sala de aula;
- **Passo 2:** O pesquisador, observou como o discente participante interagiu com a prova de conceito (Interface do MCT);
- **Passo 3:** O pesquisador registrou os requisitos no questionário de observação da pesquisa;

- **Passo 4:** O pesquisador iniciou uma entrevista estruturada com as perguntas dos questionários sobre as características e as funcionalidades do MCT;
- **Passo 5:** O pesquisador coletou os requisitos, gravando a entrevista estruturada aplicada ao discente participante;
- **Passo 6:** O pesquisador realizou uma breve análise dos dados relatados pelo discente participante, comparando os valores das notas atribuídas ao MCT, identificando os padrões a serem investigados. O principal padrão procurado foram as notas atribuídas aos itens que estejam abaixo da média e os padrões nas respostas que tenham fugido às respostas, anteriormente, dadas pelos participantes e/ou respostas consideradas discrepantes pelo pesquisador;
- **Passo 7:** O pesquisador aplicou ao discente participante uma entrevista semiestruturada que foi construída após uma análise preliminar dos dados obtidos. Todos os itens que fugiram do padrão, o pesquisador perguntou ao discente participante o motivo pelo qual, em sua opinião, um determinado item não pôde ser melhor avaliado.
- **Passo 8:** O pesquisador coletou os requisitos, gravando a entrevista semiestruturada aplicada ao discente participante;
- **Passo 9:** O pesquisador, em uma entrevista livre, perguntou ao participante o que ele achou da proposta do produto do MCT;
- **Passo 10:** O pesquisador coletou os requisitos, gravando a entrevista livre aplicada ao discente participante;
- **Passo 11 – SIM:** O pesquisador executou o passo 12;
- **Passo 11 – NÃO:** O pesquisador retomou a pesquisa com o próximo discente participante até que todos tenham participado;
- **Passo 12:** O pesquisador compilou os dados da pesquisa, transcrevendo os relatos qualitativos relevantes e organizou os dados quantitativos;
- **Passo 13:** O pesquisador tabulou os dados, organizando os dados qualitativos para a construção dos gráficos que foram um dos resultados apresentados pela pesquisa.

Nesta fase de avaliação discente, o pesquisador apresentou a interface temática do MCT para os grupos de alunos participantes com deficiência visual, incluindo os participantes que validaram o MCT.

Roteiro da entrevista livre de validação discente: Solicitamos a permissão do discente para a gravação da entrevista de avaliação, somente após o seu responsável (em caso de participante menor de idade) ou o próprio, ter dado ciência, assinando o TCLE. Nesta fase da pesquisa, o docente responsável pelo acompanhamento do pesquisador e/ou o responsável do discente menor de idade nos acompanhou neste processo.

Pergunta 1: Olá, <nome do aluno>, bom dia/boa tarde! Você nos autoriza a gravar esta conversa que será sobre a utilização deste mapa tátil que explica sobre <nome da temática>, iremos fazer algumas perguntas sobre o que você achou, estudando com esse mapa? Você nos autoriza a gravação?

Pergunta 2A: Iniciamos a entrevista de validação discente com a leitura do TALE ou do TCLE para que o discente, menor de idade e/ou cego, possa concordar ou discordar, tomando ciência dos procedimentos aplicados na pesquisa. Após a leitura do TALE e/ou TCLE, perguntamos: Você gostaria de continuar participando da pesquisa? Você concorda com as regras da pesquisa?

Pergunta 2B: No caso do discente maior de idade, perguntamos: Você leu o TCLE com atenção, assinou e concorda com os termos da pesquisa?

Pergunta 3: <nome do aluno>, deixamos claro que a pesquisa é gratuita, voluntária e sem qualquer pagamento por sua participação e você poderá deixar de participar a qualquer momento, e que não é obrigado a responder a qualquer uma das perguntas. Você concorda em participar da pesquisa?

Pergunta 4: Qual a sua idade?

Pergunta 5: Qual a sua série?

Pergunta 6: Qual o seu tipo de deficiência visual?

Pergunta 7: A deficiência visual ocorreu ao nascer ou você adquiriu ao longo da vida?

Pergunta 8: Você lê em Braille?

Pergunta 9, se baixa visão: Você lê em tinta?

Nessa fase da entrevista foi explicado o funcionamento do MCT ao discente convidado a estudar a temática proposta e o pesquisador iniciou uma observação não participante, registrando o tempo em que o aluno demorou para iniciar e concluir o estudo da temática proposta pelo MCT.

Visamos mensurar por meio do tempo, qual seria o grau de dificuldade enfrentada pelo aluno ao estudar com o MCT frente as barreiras impostas pelas especificidades da deficiência visual (cegueira congênita/adventícia, baixa visão leve, moderada ou severa congênita/adventícia) e o quanto esse fator poderia interferir nos seus estudos.

Por meio de uma entrevista estruturada, o pesquisador coletou dados dos alunos participantes, sobre as funcionalidades aplicadas ao MCT, sendo que o mesmo atribuiu uma nota de 0 a 10 a cada uma dessas funcionalidades do MCT, conforme esquematizado no Quadro 6.

Quadro 6 – Avaliação Discente das Funcionalidades do MCT.

Item	Funcionalidades do MCT	Nota
01	A forma em que a matéria foi organizada pelo MCT lhe ajudou a compreender melhor.	
02	Foi fácil estudar com o MCT.	
03	A tecnologia empregada no MCT em unir o tato, os áudios e os conteúdos da matéria lhe ajudaram a estudar melhor.	
04	O MCT é um bom recurso educacional.	
05	A capacidade do MCT em estimular o seu aprendizado.	
06	O nível no qual o MCT lhe ajudou a compreender a matéria mais do que os outros tipos de mapas táteis ou outros métodos que você costuma utilizar.	
07	O nível em que você se sentiu confortável em utilizar o MCT como mapa tátil.	
08	O nível em que você acredita que o MCT aumentou a qualidade em seus estudos.	

09	O nível em que você percebeu que o MCT aumentou a sua autonomia para conseguir estudar sozinho em sala ou até mesmo em casa.	
10	O nível no qual o MCT poderia ser utilizado como uma ferramenta educacional na pandemia para facilitar os estudos a distância. Aumentando a qualidade nos seus estudos.	
11	O nível no qual o MCT poderia facilitar o trabalho do professor em apresentar a matéria para alunos com deficiência visual.	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Assim como estruturamos a avaliação das funcionalidades do MCT foi estruturada as características do MCT, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Avaliação Discente das Características do MCT.

Item	Características do MCT	Nota
01	O acabamento das formas empregados na interface do MCT.	
02	A segurança e o conforto em utilizar o MCT em seus estudos.	
03	As tonalidades das cores empregadas na interface do MCT.	
04	A qualidade das texturas empregadas na interface do MCT.	
05	A qualidade da escrita em Braille utilizada na interface do MCT.	
06	A qualidade da escrita em tinta utilizada na interface do MCT.	
07	A qualidade da voz configurada no MCT.	
08	A qualidade dos símbolos táteis desenvolvidos na interface do MCT.	
09	A forma de utilizar o MCT nos estudos de diversos temas.	
10	A forma de conectar o MCT em cada uma de suas interfaces temáticas.	
11	O conjunto de tecnologias empregados no MCT.	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Utilizamos a mesma lógica de análise da avaliação docente na avaliação discente, pois caso o discente tenha pontuado o MCT bem abaixo da média geral em relação aos outros itens, o pesquisador aplicou a entrevista semiestruturada e registrou o motivo da baixa avaliação deste item, para que se identifique o que devemos, na opinião discente, melhorar no futuro em relação à versão do MCT apresentada.

Por fim, em uma entrevista livre, perguntaremos:

Pergunta 10: <nome do aluno>, qual a sua opinião sobre a forma de estudo proposta pelo MCT?

A pesquisa utilizará o método da avaliação para apontar os limites e as possibilidades do MCT em apoiar os discentes com deficiência visual em seu

processo de ensino e de aprendizagem e, assim, responder à questão de pesquisa proposta, na opinião dos discentes que participaram da pesquisa desenvolvida em campo.

A metodologia foi desenhada de forma a valorizar a opinião docente e discente frente a construção proposta dessa tecnologia assistiva, em busca de melhor atender as expectativas do docente em sua prática educacional e às necessidades e exigências demandadas pelos discentes com deficiência visual.

Além dos requisitos necessários em atendimento ao objetivo geral proposto na pesquisa.

No próximo item, apresentamos os resultados obtidos na pesquisa sobre a construção conceitual da Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos os resultados da pesquisa por meio dos itens a seguir, respeitando, respectivamente, a mesma hierarquia de itens relacionados na seção de material e métodos, item 5.

6.1 O Modelo Conceitual Computacional Tátil – MCT

Apresentamos os resultados, em referência ao primeiro objetivo específico da pesquisa, respeitando, respectivamente, a mesma hierarquia de itens que foram relacionados na seção de material e métodos, no item 5.1.

Adotamos a teoria da bissociação de Koestler (1964) por meio das quatro etapas de Wallas (1926) como metodologia estrutural do conceito para estabelecer o conceito de Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

O conceito de Modelagem Computacional Tátil, o MCT, partiu da pesquisa de mestrado de Silva Junior (2018) intitulada: “A INTERNET DAS COISAS E A PLATAFORMA ARDUINO COMO COMPUTAÇÃO EMBARCADA EM MAPAS TÁTEIS: Uma avaliação dessa tecnologia assistiva para o ensino das pessoas ouvintes com deficiência visual.”, teve como objetivo o de criar um produto educacional e computacional do CEMT (Computação Embarcada em Mapas Táteis) que embarcado em um mapa tátil garantiu uma maior qualidade ao ensino e mais autonomia aos estudos dos discentes ouvintes com deficiência visual nesse tema desenvolvido.

Os temas abordados em 2018 foram os Estados da Região Sudeste do Brasil, cujo objetivo do estudo discente foi o de adquirir conhecimentos sobre o mapa político dessa Região do Brasil.

A pesquisa de Silva Junior (2018) produziu numerosos resultados sobre a testagem dessa nova proposta, pois os docentes avaliaram o CEMT em 90,6% em suas características, em 94,54% em suas funcionalidades e os discentes apresentaram os percentuais de 97% e 99,25%, respectivamente.

Nesta abordagem do autor, o mapa tátil recebeu o embarque de todo aparato tecnológico de *Hardware* e *Firmware*, o que o garantiu as novas características e mais funcionalidades aos estudos dessa Região do Brasil.

A referida pesquisa apresentou diversas lacunas e perspectivas futuras, pois se tratava de um protótipo educacional a ser evoluído para que o docente gerencie no sentido de modificar e/ou adicionar os conteúdos acadêmicos ao mapa; o mapa CEMT foi todo construído de forma artesanal em madeira o que dificultaria uma produção em grande escala; e o sistema foi projetado para gerenciar um conteúdo em específico, a Região do Sudeste do Brasil, e não a diversos conteúdos acadêmicos o que limitou a proposta educacional.

No sentido de evoluir com a pesquisa no doutorado acadêmico, adotamos uma investigação voltada para um formato de modelo educacional em que os seus usuários utilizem essa Modelagem Computacional Tátil para desenvolverem as suas próprias interfaces temáticas, abordando os mais variados conteúdos do conhecimento destinados em apoiar ao ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual em seus estudos.

Aprimoramos os requisitos para o melhor aproveitamento da união dos sentidos do tato, da audição e o da visão funcional remanescentes, simultaneamente, empregados aos conteúdos acadêmicos numa proposta de modelagem de desenho universal, interativa, interdisciplinar e escalável que realmente apoie o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em qualquer área do conhecimento, o que visa atender o objetivo geral da pesquisa de doutoramento.

Ao aplicarmos a metodologia de Koestler (1964) por meio das quatro etapas de Wallas (1926) na definição e conceituação das matrizes, utilizamos os conceitos, as técnicas e os arcabouços que foram testados e aprovados como requisitos na pesquisa de mestrado em conjunto com os conceitos e requisitos que foram pesquisados e refinados nesta pesquisa de doutoramento.

Nos próximos itens, apresentamos as seis matrizes conceituais que estabeleceram a Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

Os resultados obtidos por meio da aplicação da sistematização do processo criativo de Wallas foram divididos em: Preparação; Incubação; Iluminação; e Verificação.

Essas etapas foram relacionadas com as fases da teoria da bissociação de Koestler (1964), respectivamente, são elas: Identificação das Matrizes; Conexão Inconsciente; *Insight* Criativo; e Refinamento do Conceito.

6.1.1 A preparação e a identificação das matrizes

Nesta fase, nos dedicamos a coletar os requisitos necessários para compreendermos os diferentes conceitos modelados para a construção do modelo conceitual.

Identificamos seis matrizes ao longo da pesquisa de mestrado desenvolvida por Silva Junior (2018) que foram suficientes para estabelecer o conceito da Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

Atingimos a etapa da preparação e da identificação das matrizes ao pesquisarmos, investigarmos, estudarmos e relacionarmos:

- As necessidades dos alunos com deficiência visual e as suas especificidades (a cegueira e a baixa visão, tanto congênita, quanto adventícia). Na pesquisa, chamamos essa matriz: **A Modelagem Conceitual das Especificidades da Deficiência Visual**;
- Os fenômenos da neuroplasticidade que ocorrem na adaptação cerebral em função da ausência da visão. Essa relação ocorre com os sentidos da visão remanescentes e com os outros sentidos. Esta matriz foi nomeada: **A Modelagem Conceitual da Neuroplasticidade na Deficiência Visual**;
- Os recursos mais eficientes e, usualmente, utilizados como recursos de tecnologia assistiva no apoio ao ensino e à aprendizagem dos alunos com deficiência visual. Esta matriz foi chamada: **A Modelagem Conceitual das Tecnologias Assistivas**;
- As estratégias de interação com os objetos que possam adicionar funcionalidades eficientes em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual. Matriz, sendo nomeada: **A Modelagem Conceitual da Interação com os Objetos**;
- As características do design dos objetos aplicados no desenvolvimento dos recursos educacionais destinados aos alunos com deficiência visual. Matriz de nome: **A modelagem Conceitual do Design dos Objetos**; e

- As tecnologias computacionais que permitam o desenvolvimento de uma infraestrutura tecnológica, interativa, econômica, escalável, universal, multidisciplinar, conectada, flexível e mutável.
Matriz intitulada: **A Modelagem Conceitual Computacional**.

Descrevemos, nos itens seguintes, as seis matrizes e os conceitos que foram as bases consideradas as mais importantes para estabelecer o conceito de Modelagem Computacional Tátil.

6.1.1.1 A modelagem conceitual das especificidades da DV

Esta foi a primeira matriz que identificamos em atendimento aos requisitos da pesquisa, sendo fundamentada no item 3.2, cujas especificidades da deficiência visual foram enumeradas e relacionadas.

O conceito e entendimento das especificidades da deficiência visual foram importantes na entrega dos requisitos necessários para a criação de recursos educacionais focados em atender as mais variadas necessidades das pessoas com deficiência visual em seu processo de ensino e aprendizagem.

Utilizamos o modelo funcional em três dimensões da visão de Corn (1989), Figura 3, que inclui as habilidades visuais, os sinais ambientais e o armazenamento individual.

Na dimensão das habilidades funcionais, Corn (1989) engloba um conjunto de características e de funções que compõem o sistema visual, permitindo que o indivíduo faça o uso eficiente da visão em atividades cotidianas.

As habilidades visuais, definidas por Corn, são compreendidas a partir dos seguintes componentes:

- A acuidade visual que se refere à capacidade de discernir detalhes e distinguir entre formas, letras ou objetos em diferentes escalas, sendo medida pela nitidez ou clareza da visão e, geralmente, é avaliada por meio das tabelas optotípicas, como a tabela de Snellen;

- O campo visual que diz respeito à extensão total da visão periférica, pois uma boa amplitude do campo visual permite que o indivíduo perceba os objetos e os movimentos que não estejam diretamente no seu foco central, contribuindo para uma melhor orientação e locomoção no ambiente;
- A motilidade visual integra as informações visuais com a resposta motora, permitindo que os movimentos sejam guiados pela visão, sendo rápidos, fixos e coordenados;
- As funções cerebrais associadas à visão que envolvem o processamento neural das informações visuais, incluindo a interpretação dos sinais recebidos pelos olhos, a integração das informações visuais com outras modalidades sensoriais e a formação das percepções e das representações mentais do ambiente; e
- A percepção de luz e cores é a capacidade de diferenciar intensidades de luz e distinguir as diversas cores presentes no ambiente, sendo uma habilidade crucial não só para a identificação dos objetos e dos sinais visuais, mas também para a interpretação correta dos ambientes, pois influencia a orientação espacial e a tomada das decisões.

Na segunda dimensão de Corn, temos os sinais ambientais que são os estímulos externos do ambiente, enumerados por meio das:

- Cores e do contraste, pois as cores dos objetos e dos ambientes, bem como o contraste entre eles, são fundamentais para a identificação e distinção dos elementos visuais, pois um ambiente com cores bem definidas e um contraste adequado facilita o reconhecimento das formas e dos detalhes, mesmo para as pessoas com limitações visuais;
- Intensidade e qualidade da iluminação afetam diretamente a percepção, pois ambientes com boa iluminação proporcionam uma

visão mais clara e melhor definição dos contornos, enquanto a baixa iluminação dificulta a interpretação dos sinais visuais.

- Espaço e tempo, a disposição espacial consiste na organização e na profundidade e as variações temporais são as mudanças na iluminação ou na configuração do ambiente ao longo do dia, também, são componentes críticos. Esses fatores auxiliam o indivíduo na construção de uma representação do espaço que o cerca e a orientar-se em seu interior.

A terceira e última dimensão de Corn, que é o armazenamento individual, apresenta o conceito de que o uso funcional da visão não se limita somente nas habilidades visuais e muito menos a um ambiente favorável, mas é essencial considerar, também, que a pessoa com deficiência visual tenha uma estrutura mais elaborada formada por suas experiências, capacidades cognitivas e fatores emocionais, assim, pode-se aplicar as informações visuais de forma mais eficiente no seu dia a dia. Os fatores de armazenamento individual são:

- A cognição se refere aos processos mentais envolvidos na aquisição, processamento, armazenamento e recuperação de informações, envolvendo as funções como a atenção, a memória, o raciocínio, a resolução dos problemas e nas tomadas das decisões, determinando como os estímulos visuais e outras modalidades sensoriais são interpretados e transformados em conhecimento prático, permitindo o reconhecimento de padrões, relacionando-os com as experiências passadas, sendo fundamental para que a informação visual seja útil no cotidiano;
- A integração do desenvolvimento sensorial é o processo pelo qual o sistema nervoso central combina e organiza os estímulos provenientes de diferentes sentidos como o da visão, do tato, da audição e da propriocepção na formação de uma percepção coerente do ambiente, permitindo que o indivíduo utilize informações das múltiplas fontes sensoriais para compensar eventuais deficiências em um sentido específico;

- A percepção que interpreta os estímulos sensoriais, através dos dados brutos captados pelos órgãos dos sentidos, sendo transformados em experiências significativas, envolvendo a identificação e a interpretação das formas, das cores, das texturas, dos contrastes e dos outros aspectos dos estímulos;
- A maquiagem psicológica é o conjunto de características emocionais, comportamentais e de personalidade que compõem o perfil psicológico do indivíduo, influenciam como os estímulos sensoriais são recebidos, interpretados e valorizados, pois sabemos que a autoestima, a motivação e a resiliência afetam a maneira com que a pessoa com deficiência visual se adapta às limitações e potencializa os seus sentidos remanescentes; e
- A maquiagem física que se refere aos aspectos anatômicos e fisiológicos que compõem o corpo do indivíduo e que influenciam no processamento sensorial e motor, pois são fatores como a estrutura dos órgãos sensoriais, a coordenação motora, a condição física e outros elementos biológicos que afetam a recepção e a resposta aos estímulos do ambiente.

Corn nos permitiu compreender que as habilidades visuais não se limitam aos resultados apresentados na avaliação clínica, pois abrangem um conjunto de outros conceitos, sendo fundamentais para a estimulação da visão funcional.

Na pesquisa aplicamos a teoria de Corn, incluindo os conceitos relacionados à cegueira congênita, definida por Brasil (2006a) na qual o indivíduo não possui a formação das imagens mentais sobre o ambiente ao seu redor se restringido, somente, ao contato com este meio, por intermédio dos outros sentidos, essa experiência de mundo será bem diferente dos demais, pois essa representação será composta por uma linguagem com signos que não coincidirão com as suas vivências pessoais.

Também a cegueira adventícia, relatada por Brasil (2006a), possui diferentes características, pois a pessoa foi alfabetizada por materiais impressos e temos a construção de uma bagagem visual de forma que o indivíduo possui uma base para ser aproveitada pelo processo educacional.

6.1.1.2 A modelagem conceitual da neuroplasticidade na DV

A modelagem conceitual da neuroplasticidade na deficiência visual compõe a segunda matriz conceitual desta pesquisa, sendo melhor detalhada no item 3.3 desta pesquisa.

Segundo as pesquisadoras Cosenza e Guerra (2011) ao ocorrer uma redução ou até a ausência dos estímulos visuais recebidos pelo cérebro, as conexões sinápticas relacionadas à visão se enfraquecem e com a prática e repetição das atividades que estimulem os sentidos remanescentes, novas conexões são formadas ou fortalecidas em áreas cerebrais alternativas, permitindo ao cérebro redirecionar esse processamento para as informações táteis e auditivas.

Essa reorganização neural apresentada pelas pesquisadoras, assim, conforme demonstrado por Fóz (2009) e por Gee *et al.* (2018), sendo de grande importância que ocorra de forma precoce, uma vez que o cérebro apresenta maior plasticidade nas idades iniciais.

Outra teoria que aplicamos na prática, nesta pesquisa, foi a teoria defendida por Goldschmidt *et al.* (2008), que apontam os sentidos como estímulos essenciais no processo da aprendizagem, sendo os estímulos sensoriais as principais vias de entrada das informações do ambiente externo para o cérebro.

A neuroplasticidade foi a matriz conceitual que permitiu a essa pesquisa modelar o MCT, aplicando o sentido do tato, da audição, da visão funcional em conjunto com os conteúdos acadêmicos de forma a apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

6.1.1.3 A modelagem conceitual das Tecnologias Assistivas

A Tecnologia Assistiva (TA) é a terceira matriz selecionada, sendo melhor apresentada no item 3.4 da pesquisa, os pesquisadores, tais como: Cook e Hussey (1995), Sartoretto e Berch (2025) e Brasil (2015), concordam em conceituá-la como todo e qualquer recurso que promova algum um auxílio à pessoa com deficiência em suas mais diversas atividades.

Esta matriz foi selecionada por sua relevante importância para a pesquisa, percebemos que este conceito, inclusive, foi citado em outras matrizes por diversos autores e a Modelagem Computacional Tátil em seus protótipos são mapas táteis que são recursos mais tecnológicos de TA.

A Modelagem Computacional Tátil é aplicada por meio de mapas táteis como recursos que são, amplamente, utilizados por serem eficientes em apoiar a prática docente e ao ensino dos alunos com deficiência visual.

Os mapas táteis são importantes recursos empregados no aprendizado das pessoas com deficiência visual, assim, como os pesquisadores Degreas e Katakura (2016), Koehler (2017), Giorgos (2017) e Perdue e Lobben (2016) que definem esses mapas como uma transcrição do mundo visual para informações entendidas pelo tato.

Sendo assim, essa modelagem justifica que as interfaces de interação entre a pessoas com deficiência visual e a Modelagem Computacional Tátil deve ocorrer por meio da utilização dos mapas táteis como recursos de TA por serem mais eficientes em atenderem as demandas dos discentes e dos docentes, frente a deficiência visual como barreira ao ensino e à aprendizagem desses educandos.

6.1.1.4 A modelagem conceitual do *design* dos objetos

Na matriz anterior, identificamos que os mapas táteis são os recursos de TA que melhor permitirá a fluidez entre a interação da interface do MCT com a pessoa com deficiência visual em seu processo de ensino e de aprendizagem.

Para que as interfaces do MCT abordassem a qualquer área do conhecimento, aplicamos a teoria de Gibson (1979) que criou o termo “*affordances*” relacionada ao meio ambiente que:

[...] são o que ele oferece para o animal, aquilo que o ambiente fornece ou de que dispõe, seja para o bem, seja para o mal. O verbo *afford* (dispor) encontra-se em nos dicionários, mas o substantivo não. Eu o inventei. Por meio dele quero dizer algo que se refere ao mesmo tempo ao ambiente e ao animal, de uma forma que nenhum termo existente o faz. Implica a complementaridade do animal e do ambiente [...] (Gibson, 1979, p. 127).

Que melhor repensando por Norman (2006):

O termo *Affordance* se refere às propriedades percebidas e reais de um objeto, principalmente as propriedades fundamentais que determinam de que maneira o objeto poderia ser usado (Norman, 2006, p. 33).

Gibson (1979) revela o entendimento de como os seres humanos interagem com os objetos e com os ambientes. A teoria influenciou diversos *designers*, mais especificamente, os que trabalham com a usabilidade e com a relação intuitiva entre o usuário e um determinado produto.

Norman (2006, p.1) aborda a principal função do *design* como “... a de colaborar na criação de produtos cada vez mais úteis, bons, bonitos, baratos e eficazes.” Define a complexidade de um projeto de design quando afirma que:

O fabricante quer alguma coisa que possa ser produzida economicamente. A loja quer algo que seja atraente para os clientes. O comprador tem várias exigências. Na loja o comprador se concentra no preço e aparência, e talvez no valor de prestígio. Em casa, a mesma pessoa presta mais atenção à funcionalidade e à “usabilidade”. O serviço de reparos se importa mais com a qualidade de manutenção: em que medida o aparelho é difícil de ser desmontado e o problema diagnosticado e consertado? As necessidades de todas essas partes envolvidas são diferentes e quase sempre conflitantes. Não obstante o *designer* pode ser capaz de satisfazer todo mundo (Norman, 2006, p. 51).

Segundo Norman (2006), ao concebermos a interface aplicada aos conteúdos acadêmicos e ao próprio modelo/sistema do MCT, obtivemos um objeto integrado que atendeu às expectativas de professores e alunos, além de se mostrar viável tanto do ponto de vista tecnológico quanto financeiro, além do seu desenvolvimento em blocos que permite uma maior escalabilidade em sua produção em massa e podendo ser desmontado para a execução de manutenção corretiva e preventiva.

O autor responsabiliza o *designer* ao fato de o usuário não conseguir utilizar o produto de forma eficiente ou pelo menos de não ter entendido a forma mais funcional de sua usabilidade eficiente. Isso se deve ao fato de o profissional não ter projetado bem o produto disponibilizado ao mercado consumidor.

O pensamento de Norman (2006) classifica o design como um meio de comunicação no qual o produto deve ser autoexplicativo em sua usabilidade para o usuário. Assim, segundo Norman (2006):

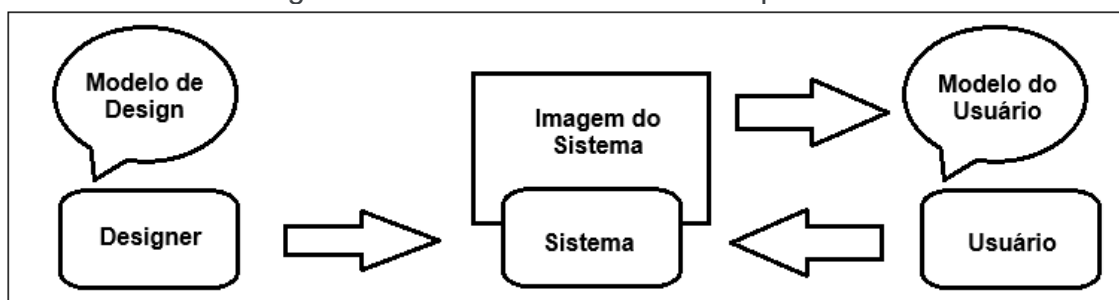
Quando *designers* projetistas falham e deixam de fornecer um modelo conceitual, somos obrigados a criar o nosso próprio modelo, e os modelos que criamos provavelmente estão errados. Os modelos conceituais são de importância crítica para o bom *design* (Norman 2006, p. 12).

Neste contexto, ao estabelecermos a Modelagem Computacional Tátil, o MCT, utilizamos a teoria de Norman (2006, p. 17), pois “a tecnologia muda rapidamente, mas as pessoas mudam devagar”.

O estudo teórico de *affordances* dos objetos de Gibson (1979) colocado em prática por Norman (2006) contribuiu como matriz de modelagem conceitual para a computação tátil, pois ao aplicarmos esse modelo de *design* praticado por Norman, garantimos que o mapa tátil entregou um nível alto de usabilidade, sendo o mais autoexplicativo possível, facilitando o entendimento do sistema.

Norman define que o modelo mental desenvolvido pelo designer que é o “Modelo de *Design*” deve ser transferido ao modelo desenvolvido e entregue pelo sistema “Imagem do Sistema” e o usuário ao utilizar esse mesmo sistema, deve desenvolver o “Modelo do Usuário” ao ter acesso e uso dessa “Imagem do Sistema”, Figura 49.

Figura 49 – Modelo mental de um produto.



Fonte: Adaptada de Norman (2006, p. 40).

Na Figura 49, observamos que o usuário cria um modelo mental sobre o sistema, a partir da própria imagem desse sistema, a medida do seu uso, que por sua vez, este sistema foi projetado pelo *designer* idealizado pelo seu modelo de *design*.

Norman (2006) explica que é esperado que o modelo de *design* seja idêntico ao modelo do usuário, assim, o sistema e a imagem do sistema foram bem projetados, caso o modelo de *design* não tenha sido bem compreendido pelo usuário, um modelo mental de usuário será criado de forma errada.

Silva Junior (2018) em sua pesquisa de mestrado desenvolveu uma busca sistematizada nas bases acadêmicas em busca de pesquisas científicas que apontassem o estado da arte para a construção de mapas táteis mais eficientes em atendimento às diversas especificidades das pessoas com deficiência visual.

Mapeamos essas estratégias descritas pelas experiências dos pesquisadores identificados por Silva Junior (2018), em categorias funcionais e em características, conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – O Estado da Arte na construção de Mapas Táteis.

Funcionalidades Características	Estratégias
Diferença dos mapas tradicionais frente aos mapas táteis.	Degreas e Katakura (2016), afirmam que mapas tradicionais são construídos para que as informações sejam lidas de forma visual com uma relativa facilidade de acesso corporal, diferentemente, dos mapas táteis desenvolvidos, principalmente, para incluir as pessoas com deficiência visual e na leitura de suas informações são utilizadas as falanges distais que percorrem todas as texturas, a escrita Braille, os símbolos táteis, os relevos e os contornos, exigindo do seu leitor um maior esforço corporal (movimento de braços, mãos e outras articulações do corpo).
Os sentidos aplicados aos mapas.	Pessoas de visão sadia montam o seu sistema de símbolos visuais para construir o conceito de cidade, a pessoa cega imagina essa mesma cidade mediante conceitos formados por um repertório montado pelos seus sentidos que funcionam. Esta habilidade necessita ser desenvolvida utilizando estratégias suplementares e muito acesso às informações (Cenci; Bernardi, 2016).
A sinestesia.	“A maneira como as pessoas cegas percebem o mundo e se relacionam com ele sem dúvida passa pelos demais sentidos, não que os videntes também não utilizem todos os sentidos. Mas ver o mundo pelo olfato, pelo paladar, pelo tato, pela audição, enfim, pelo corpo (sinestesia) toma a dimensão de um ato visível para uma pessoa cega [...]” (Arruda, 2016, p. 94).
As características das pessoas com deficiência visual.	Nogueira (2016) defende que a deficiência visual poderia ser dividida em três possibilidades: enxergar mal; não enxergar, mas já ter enxergado; e nunca ter enxergado. São estas características que devemos conhecer as suas especificidades ao trabalharmos os recursos para essas pessoas.
Mapas táteis sensoriais.	Arruda (2016) defende a questão da didática multissensorial, que se constituem na importância de se unir os sentidos através da utilização de materiais que contribuam para o processo de ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual. Alexandrakis (2016), Brule <i>et al.</i> (2016), Minhat <i>et al.</i> (2017) e Arruda (2016), defendem as ferramentas multissensoriais adicionadas aos mapas táteis para a estimulação dos demais sentidos, permitindo com que as pessoas com deficiência visual

	estimule o instinto de explorar as informações contidas nesses mapas sensoriais.
Desenho Universal para a construção de produtos.	Cenci e Bernardi (2016), Manley (2016) e Ribeiro <i>et al.</i> (2016) conceituam o Desenho Universal (DU) como um objetivo para a construção de produtos e de ambientes que atendam a todos, sem a necessidade de serem adaptados para as PcD, por serem projetos desenhados para todos. A ideia é evitar a necessidade de se criar produtos especiais para as pessoas com deficiência e focar na criação de produtos seguros e que todos possam utilizá-los com autonomia independente em suas barreiras.
A complexidade dos mapas táteis.	Cenci e Bernardi (2016) e Perdue e Lobben (2016) concordam que a construção dos mapas e das maquetes táteis não seria uma mera reprodução de uma planta ou mapa, ela deve atender aos seus usuários em suas especificidades, não se limitando na construção de mapas texturados.
Características dos materiais empregados nos mapas táteis.	Lima e Fonseca (2016) e Cenci e Bernardi (2016), defendem o não uso de materiais ásperos, ao machucarem os dedos, a ideia é usar materiais de boa textura, não tóxicos e que não provoquem um acidente ao utilizador do mapa. Sobre o significado tátil, Nogueira (2016) expõe que os materiais utilizados devem possuir uma boa diferenciação nas características de liso a áspero e fino a espesso. Não devem ferir ou irritar a pele e nem proporcionar uma reação desagradável ao serem tocados. Cenci e Bernardi (2016) apresentaram resultados nos quais os voluntários cegos congênitos e os de baixa visão (adquirida e congênita) preferiram os mapas táteis que apresentavam linhas e formas geométricas e os de cegueira adquirida preferiram os mapas que mais se aproximavam das plantas arquitetônicas.
Diferentes técnicas de construção de mapas táteis.	Cenci e Bernardi (2016) afirmam que na construção de mapas para as pessoas com deficiência visual congênita ou adquirida requerem técnicas diferentes. Para os de baixa visão e os cegos adquiridos o que agradou foi o mapa mais visual (mais arquitetônico) e para os cegos congênitos, temos que forçar a criação de um novo conceito visual, neste caso foi utilizado em forma de fluxograma.
Significados distintos aplicados aos mapas táteis.	Bem (2016), Alexandrakis (2016), Silva e Rocha (2016), Koehler (2017), Minhat <i>et al.</i> (2017), e Mussi <i>et al.</i> (2016), o projetista de um mapa tátil deve escolher elementos que representem significados distintos para não dificultem a leitura por seu usuário, evitando confundi-lo pela poluição de informações táteis dispostas no mapa.
A informação visual por meio do tato.	Degreas e Katakura (2016), Koehler (2017), Giorgos (2017) e Perdue e Lobben (2016), afirmam que na construção de mapas táteis as informações visuais são transcritas para as formas abstratas entendidas por meio do tato.
A importância da escala aplicada aos mapas táteis.	Deve-se aplicar técnicas para mensurar distâncias, adicionando um sistema de escala para fornecer uma percepção de distância a ser percorrida na navegação do mapa tátil. Essa técnica nos é informada por Bem (2016), Silva e Rocha (2016) e Régis (2016). Silva (2017) demonstrou a importância de se respeitar a escala de um mapa em relação ao seu tamanho real para que se diminuam as distorções, facilitando ao aluno uma compreensão e interpretação desse espaço.
Dimensão adequada dos mapas táteis.	Silva (2017) defende que o mapa tátil não deve ser maior que 50 cm em largura e em comprimento, pois o campo tátil é reduzido em relação ao campo da visão e não se deve poluir o mapa com inúmeras informações táteis para não dificultar a compreensão dos alunos com deficiência visual.

	Nogueira (2016) e Alexandrakis (2016), apontam que os símbolos táteis devem possuir um tamanho adequado, para o devido entendimento das pessoas com deficiência visual, nem tão pequenos ao ponto de não apresentarem os detalhes em suas texturas (detalhes menores que a ponta de um dedo) e nem tão maiores ao ponto de não passarem nenhuma informação que não possam ser reconhecidas com a palma da mão.
A poluição tátil.	Bem (2016) e Oliveira (2016), nos alerta sobre a importância de se construir mapas leves, de boa resistência ao tato, serem confortáveis ao tato e além de boa leitura dos elementos distribuídos no mapa, evitando a sua poluição tátil.
As texturas frente as cores em um mapa tátil.	Dias e Santos (2016), Silva e Rocha (2016), Alexandrakis (2016), Lima e Fonseca (2016), Stampach e Mulickova (2016), Giorgos (2017), Mountelos (2017) e Régis (2016) defendem a relevância dos símbolos usados nas texturas, utilizadas de forma contrastantes, resultando numa distinção bem definida entre elas, por serem as texturas que proporcionam diferenciações e um conhecimento mais universal, criando informações e substituindo as cores para as pessoas com deficiência visual cegas.
As cores em atendimento às pessoas de baixa visão.	Nogueira (2016), Lima e Fonseca (2016), Stampach e Mulickova (2016), Mountelos (2017), Dias e Santos (2016), Alexandrakis (2016), Régis (2016), Silva e Rocha (2016) e Degreas e Katakura (2016) as cores fortes e bem contrastantes são aplicadas no intuito de atenderem aos usuários de baixa visão que, assim, possuem uma percepção do ambiente de forma mais clara.
	A norma ABNT NBR9050/2015, citada pelas pesquisadoras Degreas e Katakura (2016) apresenta um padrão para as cores e escrita em tinta que devem possuir um contraste e ter um acabamento fosco, para evitar a reflexão da iluminação sobre o objeto. Usar cores de preferência o vermelho, o amarelo, o branco, o preto, o azul, o verde, o laranja, o púrpura, o lilás, o cinza, o alumínio e o marrom, segundo a Normatização de Referência NR26 – Sinalização de Segurança.
	Silva (2017) define que as cores em atendimento as pessoas com deficiência visual partem da diferenciação das texturas, sendo que para cada textura deve-se pintá-las com cores também distintas, isto é, para cada textura usa-se uma cor, assim melhora o entendimento tanto para as pessoas com deficiência visual que são cegas ou de baixa visão.
O contraste das cores em aplicação aos mapas táteis.	Oliveira (2016) nos atenta sobre a dificuldade nas escolhas das cores e a diferenciação dos contrastes, pois nos testes das cores com o aluno de baixa visão, o mesmo não conseguia diferenciar cores de contraste similares, como a do laranja com o vermelho, por isso, o laranja foi utilizado fazendo contraste com o preto e dado preferência para o branco, o azul, o vermelho, o amarelo, o preto e o verde.
A cartografia tátil e a sua importância para a mobilidade e autonomia das pessoas com deficiência visual.	Alves, Alencar e Bezerra (2016) e Souza <i>et al.</i> (2016), defendem a cartografia tátil como uma poderosa ferramenta de mediação para o ensino da geografia para as pessoas com deficiência visual, pois com a utilização dos seus recursos é possível construir mapas táteis e mapas mentais que desenvolvam as suas habilidades de mobilidade e de autonomia.
A importância do emprego do Braille nos mapas táteis.	Alves, Alencar e Bezerra (2016), Régis (2016), Minhat <i>et al.</i> (2017), Alexandrakis (2016), e Giorgos (2017), julgam importantíssimo o uso do Braille na construção de mapas táteis, por ser a linguagem de escrita/leitura das pessoas com deficiência visual.

Características das pessoas cegas e objetos.	Silva (2017) defende que as pessoas cegas constroem características sobre os objetos e ambientes através da convivência social, a exploração pelo tato utilizando as mãos.
	Nogueira (2016) e Mussi <i>et al.</i> (2016) afirmam que as Figuras táteis são traduzidas em imagens mentais através da imaginação da pessoa cega, imprimindo em sua mente, usando o tato, qual seria a sua forma e características. Assim, a pessoa cega consegue construir a sua imagem mental dos objetos.
A Orientação e mobilidade das pessoas com deficiência visual.	Silva (2017) relata que existe uma relação entre noções de direção esquerda/direita com leste/oeste, acima/abaixo com norte/sul, isto é, com a orientação geográfica. A forma de reconhecer referenciais de localização a partir de seu próprio corpo é reconhecer o mapa do corpo (à frente, à ré, à esquerda, à direita, acima e a baixo), pois a orientação no espaço é importante para a segurança na locomoção no espaço e as pessoas com deficiência se baseiam nesse princípio para se locomoverem no espaço urbano.
A escrita em tinta e em Braille empregada nos mapas táteis.	Sobre a escrita em tinta e em Braille, as autoras Degreas e Katakura (2016) e Ribeiro <i>et al.</i> (2016), orientam alinhar a informação escrita em Braille e em tinta, primeiro, a informação em tinta e logo abaixo, a escrita em Braille. Ribeiro <i>et al.</i> (2016) optaram por utilizar a fonte <i>APHont</i> muito utilizada pelo Instituto Benjamin Constant, IBC, para facilitar o processo de leitura das pessoas de baixa visão.
	O <i>APHont</i> ™ (pronunciado Ay-font) foi desenvolvido pela <i>American Printing House for the Blind, Inc</i> (APH), especialmente, para os leitores com deficiência visual de baixa visão. <i>APHont</i> possui atributos testados, cientificamente, no intuito de melhorar a velocidade de leitura, compreensão e conforto desses usuários (APH, 2018).
O <i>design</i> dos objetos na inclusão das PcD.	Normandi (2016), Brule <i>et al.</i> (2016), Manley (2016) e Norman (2006) defendem que o <i>design</i> não poderia se limitar a desenvolver produtos para uma grande parte da população e sim produtos que atendam às necessidades das pessoas, incluindo as pessoas com deficiência, seja ela física, intelectual ou sensorial. Deve-se construir produtos para inclui-los nos mais diversos contextos do dia-a-dia.
O <i>design</i> Universal.	Manley (2016), defende a busca do Desenho Universal (DU) no desenvolvimento de produtos, ambientes e comunicações que possam ser utilizados por todos. Possui como diretriz oito regras são elas: 1. Ser atraente a todos; 2. Ser flexível ao ser usado, 3. Adaptado ao ritmo de cada usuário; 4. Ser simples e de uso intuitivo; 5. Fornecer informações essenciais e percebíveis; 6. Fornecer avisos sobre a forma errada de uso para que o usuário se recupere sozinho; 7. Possuir um baixo esforço físico em seu uso; e 8. Tamanho físico apropriado para o seu propósito;
O design dos mapas táteis na educação.	Brule <i>et al.</i> (2016), defendem que os mapas devem ser construídos baseados, além do <i>design</i> , na utilização da forma lúdica, estimulando os alunos a decifrarem os símbolos táteis e, assim, facilitando em muito o trabalho dos professores.
	O compensado foi muito bem lixado para remover as farpas da madeira; realizou o teste de cores com o aluno de baixa visão, proporcionando-lhe optar por um maior conforto visual na diferenciação dos contrastes das cores; sendo reduzida a

A segurança dos materiais na construção dos mapas táteis.	quantidade de informação tátil para não poluir o mapa, assim, explica como foi a construção apresentado pela autora (Oliveira, 2016).

Fonte: Adaptado de Silva Junior (2018).

Em busca de um Modelo Computacional Tátil que desenvolva mapas táteis universais mais eficientes para as pessoas com deficiência visual, em atendimento aos requisitos do objetivo geral da pesquisa, utilizamos a teoria de Gibson (1979) que foi muito bem aplicada por Norman (2006) quando desenvolveu a prática do design dos objetos e numa abordagem mais específica em atendimento às demandas e as especificidades das pessoas com deficiência visual, nos apropriamos da pesquisa realizada por Silva Junior (2018) em busca do estado da arte para o desenvolvimento desses mapas táteis como interfaces eficientes para serem utilizadas no MCT.

Ao desenvolvermos as interfaces do MCT, aplicando as técnicas do *design* dos objetos e mais as estratégias pesquisadas como o estado da arte, atingimos um nível avançado de interação com os objetos, teoria de Piaget (1971), por meio da estruturação dos conteúdos acadêmicos somados ao *design* do mapa tátil desenvolvido e a audiodescrição desse mapa, descrito em mais detalhes por meio da quinta matriz dessa pesquisa e descrito no próximo item.

6.1.1.5 A modelagem conceitual da interação com os objetos

A matriz da modelagem conceitual da interação com os objetos é fundamentada pelo pesquisador Jean Piaget (1971, p. 17) que pesquisou a teoria da interação dos objetos, afirmando que “[...] todo conhecimento está ligado a uma ação e que conhecer um objeto ou acontecimento é utilizá-los, assimilando-os a esquemas de ação.”, explicando melhor o tema quando diz que:

A inteligência não começa, pois, nem pelo conhecimento do eu nem pelas coisas enquanto tais, mas pelo conhecimento de sua interação, e é ao orientar-se simultaneamente para os dois pólos dessa interação que ela organiza o mundo, organizando a si mesma (Piaget, 2001, p. 361).

O autor defende a atribuição de um significado lógico ao objeto para que o indivíduo possa manter um diálogo interativo com esse próprio objeto, assim, como melhor explica Piaget (1971):

Assimilar um Quadro sensorial ou um objeto quer por assimilação simples, quer por reconhecimento ou extensão generalizada, é inseri-lo num sistema de esquemas ou, por outras palavras, atribuir-lhe uma significação (Piaget, 1978, p. 183).

Nas pesquisas de Arruda (2016), Alexandrakis (2016) e Brule *et al.* (2016) e Minhat *et al.* (2017) foram adicionadas funcionalidades e características sensoriais aos seus mapas táteis para que na falta da visão ou na visão mais prejudicada ocorresse a valorização e a estimulação dos outros sentidos permitindo a esses mapas serem recursos de tecnologia assistiva mais lúdicos e intuitivos.

A matriz conceitual da interação com os objetos foi integrada à Modelagem Computacional Tátil na forma em que os conteúdos foram divididos em pequenas partes, subdivididas entre os sensores táteis dos mapas aplicados como interfaces temáticas do MCT, de forma que fosse possível projetar um ambiente de interação cujo aluno pudesse interagir com o seu tato e o sistema do mapa tátil interagisse com a audiodescrição em referência a aquele ponto tátil tocado pelo aluno com deficiência visual.

Na próxima matriz, trataremos dos recursos computacionais empregados na modelagem do MCT.

6.1.1.6 A modelagem conceitual computacional

A definição da matriz de modelagem conceitual computacional permitiu ao MCT a implementação da infraestrutura tecnológica necessária para o atendimento dos requisitos definidos no objetivo geral da pesquisa.

Assim, como na matriz do design dos objetos de Norman (2006), nesta matriz, relacionamos todos os recursos utilizados na modelagem desenvolvida ao longo da pesquisa, numa demonstração do estado da arte.

Inicialmente, no Quadro 9 relacionamos os recursos computacionais empregados na pesquisa de Silva Junior (2018) para a construção da

computação embarcada em mapas táteis e os que apresentam a capacidade de reuso para contribuírem com a evolução tecnológica aplicada à Modelagem Computacional Tátil, o MCT.

Quadro 9 – Mapa CEMT – Recursos Computacionais.

Recursos Computacionais	Descrição
Computação Embarcada	O conceito de computação pervasiva (embarcada) está presente no computador embarcado ao ambiente de forma imperceptível ao usuário, possuindo a capacidade de processar informações desse ambiente (Cirilo, 2008). Heath (2003), define um Sistema Embarcado (SE), como sistemas que utilizam microcontroladores, que são projetados para funcionalidades bem definidas. Não sendo como um PC que seria programado pelo usuário final, por ser programado pelo projetista do sistema de <i>hardware</i>.
“Tecnologia Calma”	A interação do ser humano com o computador no conceito de computação embarcada foi batizada como “tecnologia calma” pelo fato de que a computação não venha monopolizar a atenção das pessoas como seus usuários. Em diversas aplicações, os sistemas computacionais são imperceptíveis ao ponto de serem executados sem que seus usuários percebam esse processo e tornar seu resultado acessível à percepção periférica desse usuário (Cirilo, 2008).
Características de um Sistema Embarcado	Para definir sistemas embarcados, Health (2003), enumerou algumas características que a diferem de um computador pessoal. Dessa forma, poderemos entender, na prática, essa diferença e melhor conceituá-la, são elas: 1. Características do Programador: o PC seria programado pelo usuário final, enquanto um sistema embarcado é programado pelo desenvolvedor do <i>hardware</i>; 2. Finalidade das Tarefas: Um PC possui uma finalidade geral, podendo ser empregado em diversas aplicações, um sistema embarcado é projetado para atuar em tarefas bem específicas; 3. <i>Software</i> Oculto: um PC possui um <i>software</i> que seria facilmente substituído pelo usuário, um sistema embarcado possui um <i>hardware</i> identificável, mas um software oculto e de difícil análise, por serem processados em microcontroladores, sendo, assim, inacessível; 4. Substituição de Lógica: sistemas embarcados costumam substituir circuitos lógicos; 5. Proteção de Propriedade Intelectual: Os <i>softwares</i> desenvolvidos para os sistemas embarcados são protegidos intelectualmente com mais facilidade, ao estarem embutidos ao <i>hardware</i>, oferecendo o acesso mais restrito; 6. Os sistemas embarcados estabelecem esses 5 parâmetros: •Confiabilidade: é a possibilidade do sistema de não falhar; •Manutenibilidade: na condição de uma falha, o sistema a corrige em certo intervalo de tempo;

	•Disponibilidade: é a capacidade do sistema estar disponível. Será tanto maior quanto for maior a sua confiabilidade e manutenibilidade; •Segurança: O sistema de não causar algum tipo de dano a alguém ou a outro sistema; •Confidencialidade: descreve a capacidade do sistema em manter os dados confidenciais e de garantir uma comunicação autenticada e segura; 7. Costumam ter restrições no consumo de energia, principalmente os sistemas portáteis. Ao contrário dos PCs, a maioria dos sistemas embarcados são alimentados, unicamente, por baterias de baixa autonomia; 8. Utilizam sensores como periféricos de entrada de dados e mecanismos para o controle das operações de saída de dados, são componentes de interação que são essenciais a esses sistemas; 9. O fator de tempo real seria afetado pela latência das interrupções; 10. Em sistemas embarcados que exigem um tempo de resposta previsível devem considerar as características de tempo real do projeto; 11. Demandam ferramentas e métodos específicos para serem eficientemente projetados, pois os sistemas embarcados são compostos por <i>hardware</i> e <i>softwares</i> integrados que exigem mudanças na sua forma de concepção, teste e depuração, em relação a um projeto de <i>hardware</i> e um projeto de <i>software</i> feito isoladamente; e 12. Os microprocessadores projetados para aplicações embarcadas costumam incluir circuitos especialmente dedicados à depuração.
A utilização da Computação Embarcada	A computação embarcada é amplamente utilizada em soluções específicas na indústria, comércio e em vários outros segmentos de mercado, tendo como uma de suas funções, a teoria da "Tecnologia calma", pelo seu tratamento das falhas e outros fatores (Cirilo, 2008).
A Internet das Coisas	A Internet das Coisas (IdC), em inglês, <i>Internet of Things</i> (IoT) é definida por Ashton (1992) como um conjunto de dispositivos digitais que se operam entre redes de escalas globais. Lacerda e Lima-Marques (2015) defendem que as formas da IdC são heterogêneas, incluindo dispositivos de múltiplas funções (celulares, <i>tablets</i>, etc.) especializados (sensores de temperatura, dispositivos passivos e ativos) suportados por uma Plataforma de <i>software</i> e <i>hardware</i>.
A Computação Ubíqua	A computação ubíqua, definida por Kahl e Floriano (2012), apresentam conceitos de que os computadores estarão presentes em todos os lugares e momentos ajudando aos humanos, sem que ele tenha a percepção de que isso esteja ocorrendo. A sua importância se dará não pela sua abstração ocorrida pelo seu tamanho físico, mas pela sua capacidade de assimilar informações sem a intervenção de seu usuário e sim pelo ambiente. Segundo Kahl e Floriano (2012) a computação ubíqua é proveniente da união entre a Computação Pervasiva e a Computação Móvel. A Computação Pervasiva sustenta o conceito de que os meios computacionais estarão distribuídos pelo local de trabalho do usuário de forma perceptível ou imperceptível. Já a Computação Móvel para o conceito da capacidade de um dispositivo computacional se deslocar pelo ambiente e manter-se conectado à sua rede local ou a Internet.

	Para Weiser (1991) a computação ubíqua permite que os dispositivos se integrem de forma imperceptível aos usuários de maneira fluida e discreta, apresentando as seguintes características: 1. Onipresença: os dispositivos estão presentes em todos os lugares; 2. Invisibilidade: a tecnologia se integra ao ambiente de forma não intrusiva; 3. Contextualização: os sistemas percebem e reagem conforme as necessidades dos usuários; 4. Interconectividade: os dispositivos se comunicam entre si continuamente; e 5. Automação Inteligente: as ações são definidas sem a intervenção constante do usuário.
A Plataforma de desenvolvimento de Hardware e Firmware	A Plataforma Arduino é uma infraestrutura que se divide em <i>hardware</i> e <i>software</i> abertos destinados à criação de projetos de fácil implementação (Arduino, 2018).
	Moreira <i>et al.</i> (2013), definem a Plataforma Arduino como uma tecnologia <i>open hardware</i> (<i>hardware</i> livre) que utiliza um microcontrolador da família AVR, permitindo o desenvolvimento de projetos eletrônicos e programáveis mais simples e intuitivos. Com ela monitoramos sensores, efetuamos a comunicação com celulares e computadores, inclusive, ligamos e desligamos lâmpadas, abrimos fechaduras elétricas, controlamos o acionamento de relés, etc.
	A plataforma Arduino possui um baixo custo de <i>hardware</i> (menos de 50 dólares); a compatibilidade com os sistemas operacionais mais difundidos no mercado (Windows, MAC OSX e Linux); aprendizado fácil para iniciantes; infinidades de possibilidades para usuários mais avançados; o idioma da ferramenta seria ampliado pelas bibliotecas C++; e possui uma grande disposição de kits vendidos no mercado para a realização de novos projetos (Arduino, 2018).
A Metodologia de desenvolvimento da Prototipagem Evolutiva	O cérebro do Arduino UNO, segundo Souza (2013), é o microcontrolador ATMEGA328 que é da família AVR de 8 bits de arquitetura RISC num encapsulamento DIP28.
	Sommerville (2011) afirma que um protótipo visa antecipar todas as funcionalidades de um produto desejado por seus usuários na construção da primeira versão do protótipo e à medida que os usuários vão interagindo com esse protótipo, novos requisitos são descobertos e incorporados às próximas versões. O processo de prototipagem só se encerra quando o protótipo alcança a maturidade, isto é, no momento em que todas as necessidades dos seus usuários são atingidas, transformando-o num produto pronto para ser usufruído pelos seus consumidores.
	Sommerville (2011, p. 30) conceitua um protótipo como “uma versão inicial de um sistema de <i>software</i> ”, sendo usado para a apresentação de um conceito, na experimentação das variações de um projeto, descobrindo dessa forma, os problemas e as suas soluções.

Fonte: Adaptado de Silva Junior (2018).

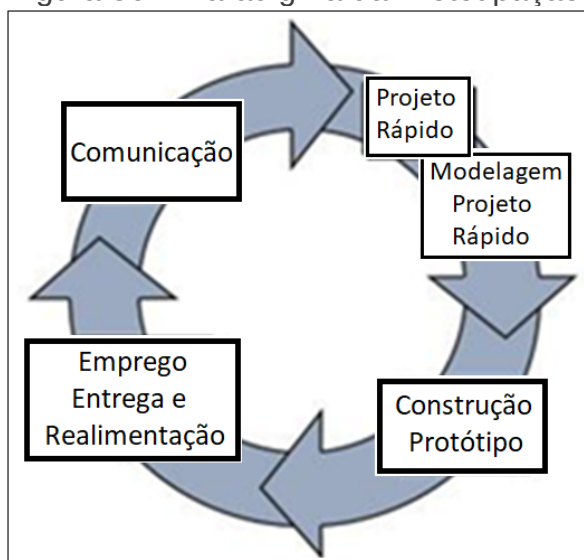
Silva Junior (2018) aplicou na pesquisa, em desenvolvimento da computação embarcada em mapas táteis, os recursos computacionais relacionados no Quadro 9, sendo possível atribuir funcionalidades e características aos mapas táteis numa proposta do estado da arte, que

possibilitaram aos professores esquematizar os conteúdos de forma interativa e aos alunos com deficiência visual maior autonomia e qualidade em seus estudos ao utilizarem este recurso.

O recurso computacional da prototipagem evolutiva de Pressman (2011) foi a metodologia utilizada na pesquisa.

A escolha pelo paradigma da prototipação, Figura 50, possui o primeiro passo iniciado com a comunicação com os participantes da pesquisa que foi realizada por meio de uma reunião para definir os requisitos mais gerais do *software*, identificando as suas características e suas funcionalidades de uma forma mais abstrata.

Figura 50 – Paradigma da Prototipação.



Fonte: Adaptado de Pressman (2011, p. 63).

O projeto rápido é modelado a partir dos requisitos registrados na etapa da comunicação. Por meio do projeto rápido, um protótipo é construído, entregue e testado pelos usuários que relatam novos *feedback* que serão utilizados para aprimorar os requisitos iniciais adquiridos na etapa da comunicação, assim, o paradigma da prototipação se repete, neste ciclo, até que se resulte num produto que atenda às necessidades e/ou expectativas do cliente (Pressman, 2011).

A principal vantagem da prototipagem, consiste na definição precisa dos requisitos iniciais, assim, o protótipo deve ser testado com os participantes para direcionar o desenvolvimento de novas versões que, efetivamente, solucionem

os problemas identificados, com base nesses requisitos iniciais (Pressman, 2011).

O processo de construção 100% artesanal, utilizando a madeira como principal material, dificultando em muito a reprodução em escala desse recurso, um problema identificado no mestrado.

Em busca de uma solução, na pesquisa de doutorado, adicionamos à matriz computacional, em relação ao mestrado, os recursos para o desenvolvimento de prototipagem rápida que inovou a construção do mapa tátil por meio da modelagem, do fatiamento e da impressão em 3D e pelo corte a laser como principais estratégias de construção dos protótipos dos mapas que foram as provas de conceitos na pesquisa de campo, permitindo que o mapa tátil possa ser impresso em 3D e cortado a laser por qualquer pessoa ao redor do mundo.

Ferreira *et al.* (2001) nos informa que existem, basicamente, duas tecnologias de impressão em 3D uma que depositam material, camada a camada, sendo um processo aditivo, e as que desbastam de um bloco, sendo um processo subtrativo.

No processo aditivo o modelo 3D é construído com a deposição de material camada a camada até que se resulte na forma do objeto projetado. Já no processo subtrativo o objeto modelado é adquirido por meio de um bloco de dimensões superiores às do objeto em que uma ferramenta é utilizada para subtrair partes desse material até que resulte no formato desse objeto a ser construído (Ferreira *et al.* 2001).

Na pesquisa, do MCT, utilizamos a impressão em 3D aditiva e do tipo FDM, *Fused Deposition Modeling*, que consiste na impressão de objetos com a deposição camada a camada de material plástico fundido (Savini, 2015).

Além da impressão em 3D, utilizamos a tecnologia de corte a laser CNC, *Computer Numeric Control*, para o desenvolvimento da base em cortes precisos em MDF, *Medium-Density Fiberboard*, que acomodou os protótipos do mapa tátil do MCT e o sistema que compõe o *hardware*.

O funcionamento de uma cortadora a laser CNC é um processo que integra a geração de um feixe de laser de alta potência e seu direcionamento preciso, controlado por computadores.

Segundo Groover (2013), o feixe é focalizado e direcionado por meio de espelhos e lentes, permitindo a concentração da energia necessária para cortar ou gravar o material com alta precisão.

De forma complementar, Kalpakjian e Schmid (2014) enfatizam que o controle numérico computadorizado é fundamental para converter os desenhos digitais em movimentos precisos, garantindo a repetibilidade e a qualidade dos cortes em peças com geometria complexa.

Segundo o autor, esse controle numérico computadorizado é um sistema que permite o controle de máquinas, utilizado principalmente em tornos e centros de usinagem. Permite o controle simultâneo de vários eixos, por meio de uma lista de movimentos escrita num código específico, chamado de GCODE.

Outro recurso computacional adicionado à matriz conceitual computacional do MCT foi a IHC, teoria de Engelbert (1962) a Interação Humano-Computador, sendo um campo interdisciplinar que busca compreender e aprimorar a comunicação entre os usuários e os sistemas computacionais.

O autor define que as máquinas não devem somente automatizar tarefas, mas potencializar a capacidade humana de resolver problemas complexos, organizando e gerenciando informações de forma eficiente.

Aplicamos a técnica no desenvolvimento do *firmware* do MCT por meio da Prototipagem Iterativa, defendida pelo autor, na criação do protótipo do computador tátil para testar ideias e obter *feedback* rápido dos docentes e discentes que foram os participantes da pesquisa de campo.

Essa área fundamenta-se na integração de conhecimentos provenientes da psicologia cognitiva, *design*, engenharia e ciência da computação, visando desenvolver interfaces que sejam intuitivas, eficientes e centradas no usuário, assim, como buscamos como objetivo geral da pesquisa por meio dos mapas táteis como interfaces computacionais do MCT.

Um dos marcos teóricos na área é o modelo de processamento de informação, que investiga como os usuários percebem, processam e respondem às informações apresentadas em uma interface. Card, Moran e Newell (1983) exploraram esses processos, fornecendo uma base para compreender as limitações cognitivas dos usuários e orientar a criação de interfaces que se adaptem a essas características.

Assim como, Donald Norman (2006), pesquisador que desenvolveu a teoria do *design* dos objetos uma de nossas matrizes, também contribuiu, significativamente, para esse conceito de IHC, teoria de Engelbart (1962), destacando conceitos fundamentais como *affordance* e *feedback*. Segundo Norman, esses elementos são essenciais para que os usuários identifiquem as possibilidades de interação com os objetos e sistemas, facilitando o uso e reduzindo os erros sistêmicos.

Essas contribuições teóricas demonstram que, para alcançar uma interação eficiente entre humanos e computadores, é fundamental considerar tanto os processos cognitivos dos usuários quanto os princípios de *design* que facilitam o uso intuitivo das interfaces. A integração dessas perspectivas possibilita desenvolver sistemas que não somente atendam às necessidades funcionais, mas também promovam uma experiência positiva e envolvente para os usuários.

Sendo assim, definimos as seis matrizes conceituais básicas para estabelecer o conceito de Modelagem Computação Tátil, o MCT.

Nos próximos itens, prosseguiremos com o desenvolvimento de modelagem, conforme a teoria de Wallas (1926).

6.1.2 A incubação e a conexão inconsciente

A partir da conclusão da primeira fase, na qual identificamos e consolidamos as seis matrizes conceituais, passamos para uma etapa mais profunda do processo criativo, conforme as teorias de Koestler (1964) e Wallas (1926).

As matrizes foram reorganizadas, conforme apresentado no Quadro 10 de forma a facilitar o processo de assimilação das relações entre as matrizes que não foram evidentes na fase de preparação em favorecimento ao processo dos *insights* criativos.

Quadro 10 – A reorganização das Matrizes Conceituais do MCT.

Matrizes	Requisitos	Descrição
A modelagem conceitual das especificidades da Deficiência Visual.	Habilidades Visuais	Baseada no modelo funcional em três dimensões da visão de Corn (1989). Abrange as habilidades visuais (não se limitando à acuidade medida clinicamente), os sinais ambientais e o armazenamento individual. Destaca as diferenças entre a cegueira congênita, sem formação de imagens mentais, dependendo de outros sentidos e a cegueira adventícia, com bagagem visual adquirida, influenciando o processo educacional.
	Sinais Ambientais	
	Armazenamento Individual	
	Deficiência Visual Adventícia	
	Deficiência Visual Congênita	
A modelagem conceitual da neuroplasticidade na Deficiência Visual.	Tato	Enfatiza a capacidade do cérebro de se reestruturar para maximizar os sentidos remanescentes (tato e audição) na ausência ou limitação da visão. Ressalta que, por meio de intervenções com tecnologias assistivas, treinamento sensorial e ambientes estimulantes, é possível melhorar a funcionalidade, a aprendizagem e a autonomia das pessoas com deficiência visual.
	Audição	
A modelagem conceitual das Tecnologias Assistivas.	Mapas Táteis	Engloba todos os recursos que auxiliam as pessoas com deficiência em suas atividades diárias. Aponta os mapas táteis como um recurso de tecnologia assistiva eficiente no apoio ao ensino de alunos com deficiência visual.
A modelagem conceitual do design dos objetos.	Formas, contornos e relevos.	Aplicado em Mapas Táteis. A informação exposta deve ser via tato, audição e visão funcional. Baseada na teoria de Gibson (1979) e aplicada por Norman (2006) para o design de objetos, especialmente, voltada às demandas e especificidades das pessoas com deficiência visual, considerando os requisitos como as estratégias de design para construir mapas táteis universais, interativos e escalares, que
	Texturas	
	Cores	
	Escala	
	Dimensão dos mapas táteis	
	Escrita em Braille	
	Escrita em Tinta	
	Símbolos táteis	
	Sensores Táteis	
	Desenho Universal	
	Estratégias Seguras	
	Atender as especificidades da Deficiência Visual	
	Mapas Multissensoriais	

	Significado tátil	promovam autonomia e qualidade no aprendizado desses alunos.
	Cartografia tátil	
	Orientação Geográfica	
	Recursos intuitivos	
	Baixo esforço físico	
	Forma lúdica	
	Evitar a poluição tátil	
	Introduzir o conteúdo por tinta, Braille e áudio	
A modelagem conceitual da interação com os objetos.	Conteúdos Acadêmicos Estruturados em pequenos fragmentos, em tinta, em Braille e em audiodescrições, iniciando pela introdução aos conteúdos, orientação de direção, conduzindo a ordem de acesso aos símbolos táteis e a fragmentação de um grande volume de conteúdo em pequenas partes divididas entre os sensores táteis.	Descreve o design para o desenvolvimento de um mapa tátil que, conforme os critérios de Norman (2006), possibilita uma interação fluida com o usuário. Baseia-se na teoria de Piaget (1971) de “Sistemas de Esquemas” ao promover um diálogo dinâmico entre o toque do aluno e o sistema, integrando, simultaneamente os sentidos do tato e da audição para a compreensão dos conteúdos acadêmicos.
A modelagem conceitual computacional.	Plataforma de Desenvolvimento, componentes eletrônicos, sensores táteis e reproduzidor de áudio	Refere-se à utilização de recursos computacionais e eletrônicos na construção e no desenvolvimento da Modelagem Computacional Tátil, o MCT.
	Computação Embarcada	
	Internet das Coisas, IdC	
	Interface Homem Computador, IHC	
	Prototipagem Evolutiva	
	Impressão em 3D	
	Corte a Laser CNC	

Fonte: Adaptado pelo autor (2025).

Para facilitar o entendimento dos conceitos que envolveram as seis matrizes que resultaram no conceito da Modelagem Computacional Tátil, interrelacionamos do Quadro 10 com os itens já apresentados, anteriormente, são eles: 6.1.1.1; 6.1.1.2; 6.1.1.3; 6.1.1.4; 6.1.1.5 e 6.1.1.6, que identificaram as seis matrizes.

Percebemos que as matrizes se relacionam em funções e em características que unidas nos permitiram atingir o objetivo geral de pesquisa.

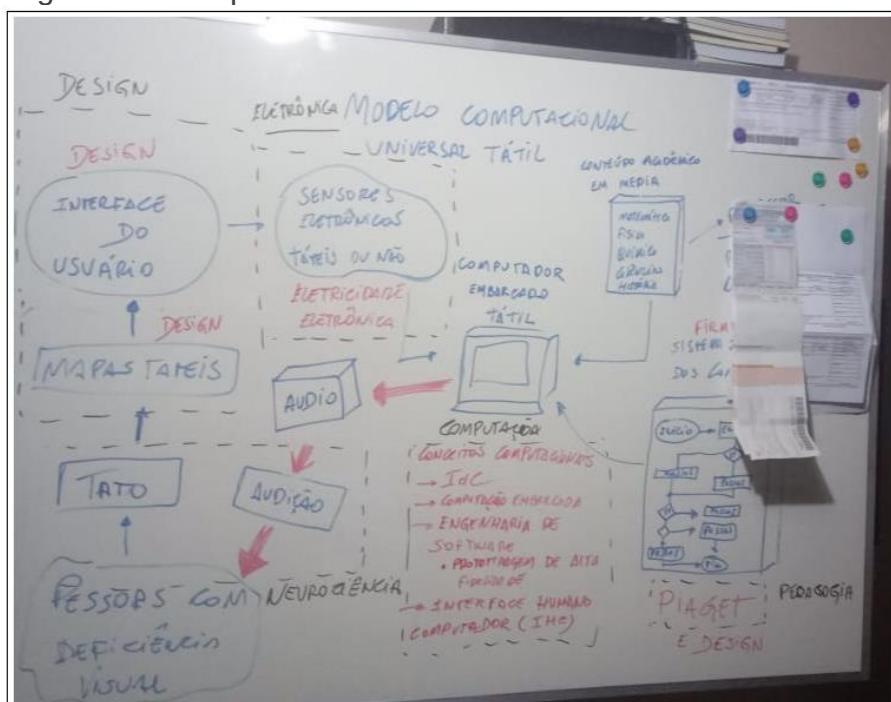
Durante essa fase, as seis matrizes, que abrangem desde as especificidades funcionais da visão na deficiência visual até os conceitos modelagem computacional, são organizadas para “incubar”. O sistema cognitivo do pesquisador trabalhou de forma subconsciente para encontrar conexões entre, por exemplo, os aspectos neurolásticos e o design dos objetos e/ou entre

a interação dos objetos e a estratégia computacional da Interface Humano Computador, IHC, teoria de Engelbart (1962).

Na segunda fase de incubação de Koestler e na etapa de conexão inconsciente de Wallas, o trabalho mental deixa de ser um esforço deliberado e linear para se tornar um processo de recombinação dos elementos, previamente, identificados. Essa etapa é crucial, pois nos permitiu que a integração das seis matrizes se transforme em *insights* inovadores e em propostas criativas que foram, posteriormente, concretizadas na etapa de iluminação (ou *insight*) e verificadas quanto à sua eficácia prática. Essa dinâmica reforça a importância de se permitir momentos de “desconexão” ativa, cujo inconsciente contribui para a construção de soluções integradas e interdisciplinares.

Aplicando a teoria da incubação, o pesquisador iniciou um rascunho, sobre as conexões conceituais entre as seis matrizes apresentadas, conforme ilustramos na Figura 51, este esquema foi rascunhado num quadro branco, produzido sem a preocupação com o foco no problema da pesquisa (atender os requisitos do objetivo geral), sendo construído dia a dia e ao longo de meses, a interação entre as matrizes sofreu diversas mutações até que o pesquisador chegasse num modelo conceitual completo e próximo com a realidade que atendesse os requisitos do objetivo geral da pesquisa.

Figura 51 – Mapeamento Inconsciente das matrizes do MCT.

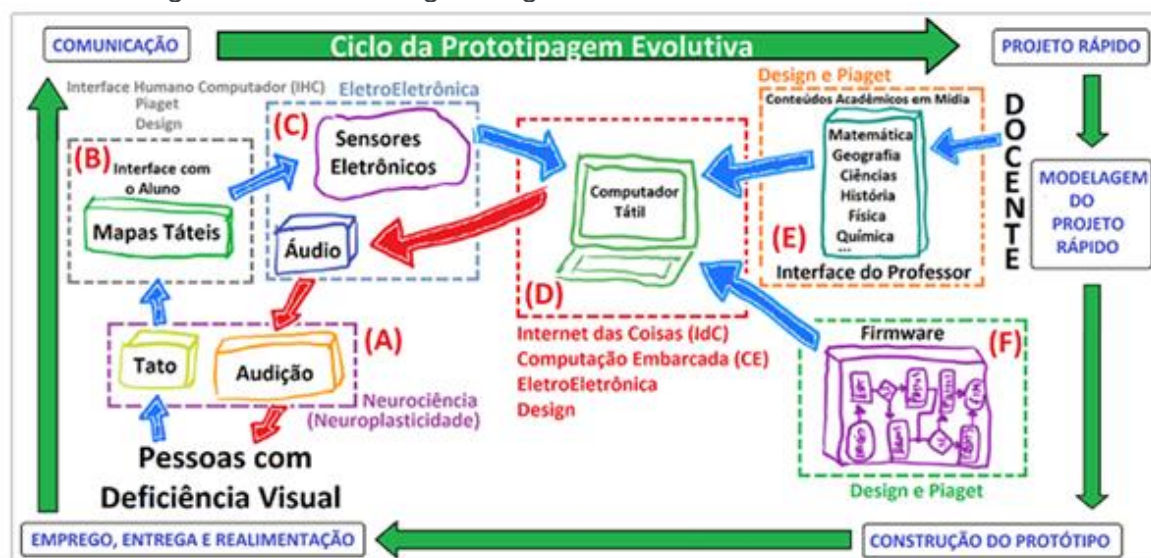


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

No processo de mutação lenta entre a identificação dos relacionamentos e as matrizes, que cada vez foi ficando mais claro e lógico na mente do pesquisador até que se estabelecesse uma modelagem conceitual que pudesse representar, minimamente, o MCT.

Num segundo momento do processo de incubação das matrizes, o pesquisador digitalizou o esquema desenvolvido de forma inconsciente, conforme descrito por Koestler e Wallas, ilustrado na Figura 52.

Figura 52 – Modelagem digitalizada das matrizes do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 52, temos as relações entre os requisitos das seis matrizes que foram, inicialmente, incubadas pelo pesquisador num processo mental inconsciente de construção da modelagem do MCT.

Numa descrição básica do esquema, observa-se que as pessoas com deficiência visual iniciam a interação por meio de um mapa tátil, construído em atendimento aos requisitos da matriz de especificidades da deficiência visual, utilizando o sentido do tato e da audição, conforme representado pela matriz da neuroplasticidade (item A, Figura 52). Em seguida, esse estímulo tátil é captado pelo símbolo tátil integrado ao mapa tátil, que é um requisito de matriz de tecnologia assistiva (item B, Figura 52), estabelecendo uma interação com o aluno, fundamentada nos princípios da IHC de Engelbart (1962) e nas teorias de Piaget (1971) e Norman (2006), matrizes do design dos objetos e de interação com os objetos. Os sensores eletrônicos, interligados ao computador tátil por

meio da matriz computacional e seus requisitos (itens C e D, Figura 52), identificam a audiodescrição correspondente ao sensor ativado pelo aluno, selecionando o áudio relativo ao tema acadêmico, previamente, armazenado pelo docente (item E, Figura 52). Os processos são gerenciados pelo firmware programado em atendimento aos requisitos de design interativo do MCT (item F, Figura 52). Por fim, o computador tátil encaminha o arquivo de áudio para o reproduzidor de MP3 (item C, Figura 52), que reproduz a audiodescrição captada pelo sentido de audição do aluno.

Nota-se que o desenvolvimento desse sistema ocorre através dos ciclos da prototipagem evolutiva de Pressman (2011), requisito de desenvolvimento apresentado pela matriz de modelagem computacional.

Assim, finalizamos a etapa da incubação que relacionou as seis matrizes de forma inconsciente na intenção de atender os requisitos do objetivo geral da pesquisa, no sentido inovador de construção do conceito da Modelagem Computacional Tátil.

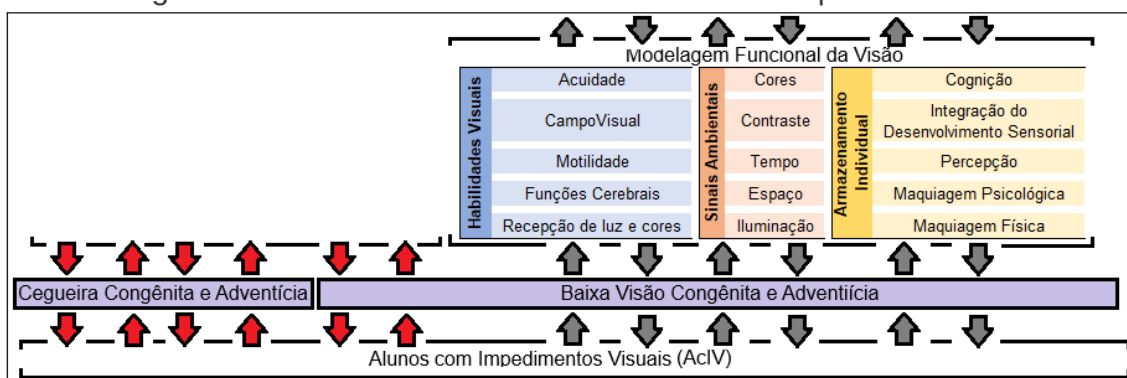
No próximo item, avançaremos com o desenvolvimento da terceira etapa de Wallas a iluminação e com o da terceira fase de Koestler o *insight* criativo.

6.1.3 A iluminação e o *insight* criativo

Nesta etapa evolutiva, a pesquisa encontra-se preparada para avançar com a terceira etapa de Wallas, a Iluminação e a terceira fase de Koestler o *insight* criativo, cujo *insights* gerados durante a incubação foram estruturados, a fim de formar um modelo inovador de Modelagem Computacional Tátil, o conceito do MCT.

A Modelagem Conceitual das Especificidades da Deficiência Visual consistiu em relacionar as necessidades dos alunos com deficiência visual, considerando, tanto a visão funcional que a pessoa com deficiência visual possui, sejam elas de origem congênita ou adventícia, Figura 53.

Figura 53 – O conceito do MCT – Matriz das Especificidades.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 53, observamos que a modelagem conceitual parte da base para o topo, isto é, do primeiro ator do sistema que são os alunos com deficiência visual até a adição da próxima camada conceitual que foi a matriz da modelagem conceitual das especificidades da deficiência visual, que nos entregou os conceitos importantes e necessários para que pudéssemos conhecer bem as necessidades desse público alvo da pesquisa, a serem beneficiados por essa Tecnologia Assistiva (TA).

Para que esse recurso de TA seja eficiente em apoiar ao ensino e à aprendizagem desse público-alvo, aumentando a qualidade e a autonomia em seus estudos (em atendimento ao objetivo geral da pesquisa), é essencial que em casos de alunos de baixa visão congênita ou adventícia, esta TA valorize o desenvolvimento precoce da visão funcional, conforme defendido por Corn (1989) e no caso da cegueira a valorização parte da estimulação precoce dos sentidos remanescentes que estimulem a criação de uma bagagem mental para os cegos congênitos e que seja melhor aproveitada a bagagem mental já existentes nos cegos adventícios.

O MCT valorizou aplicando a teoria da eficiência visual de Corn (1989) por meio de buscar por recursos (recursos descritos na matriz de interação com os objetos e de *design*) que aproveitaram as habilidades visuais, os sinais ambientais e o armazenamento individual dos alunos de baixa visão como meio de interconectar a matriz das especificidades da DV com as matrizes, imediatamente superiores, de interação com os objetos e de *design*, Figura 55.

No caso dos cegos congênitos que não possuem um conjunto de imagens sobre as coisa e objetos, assim, as TA devem prover recursos para que esse perfil tenha mais facilidade em produzir as suas próprias imagens sobre os

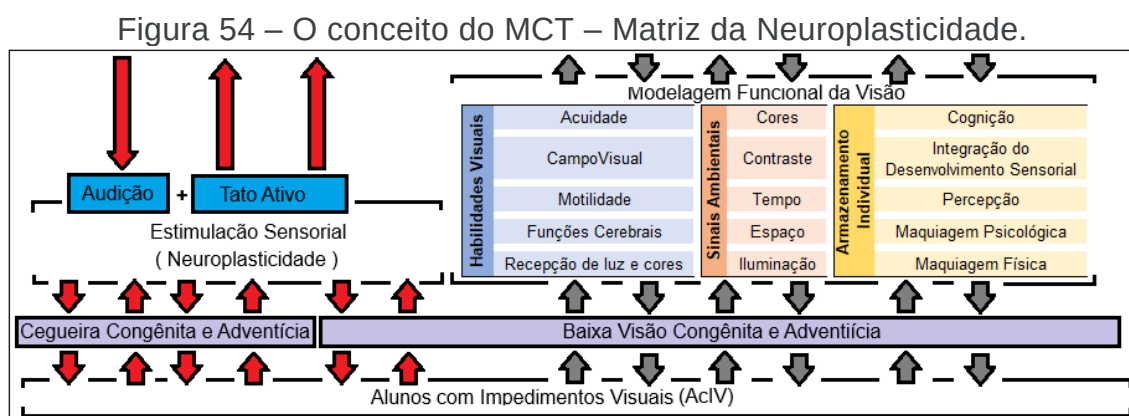
conteúdos estudados, facilitando o seu entendimento e posteriores correlações com os novos conteúdos a serem aprendidos.

Observamos que, diferentemente, das pessoas cegas congênicas, as pessoas cegas adventícias possuem uma bagagem mental de imagens sobre as coisas e objetos que são aproveitadas em seu percurso educacional, tornando esse processo bem mais fácil, pois as correlações de conteúdos serão bem mais fluídas por essa base básica já ser funcional para esse aluno.

As TA eficientes procuram fazer o bom uso dessa bagagem mental de imagens, facilitando o processo de ensino e aprendizagem desses alunos.

Observando a Figura 54, a camada da cegueira congênita e adventícia possui interação somente com a matriz da neuroplasticidade que envolve a soma dos sentidos do tato e da audição, enquanto a camada da baixa visão congênita e adventícia possui uma maior interação com a modelagem funcional da visão do que com a matriz da neuroplasticidade, pois devemos incentivar o uso e estimular, precocemente, qualquer vestígio da visão funcional que a pessoa com deficiência possua.

A Modelagem Conceitual da Neuroplasticidade na Deficiência Visual investigou os fenômenos da neuroplasticidade envolvidos na adaptação cerebral diante da ausência da visão, analisando a interação entre os sentidos remanescentes, Figura 54.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Nessa matriz, o sentido do tato e da audição foram somados, simultaneamente, aos conteúdos acadêmicos de forma que garantiu o atendimento do objetivo geral da pesquisa, aumentando a qualidade e a autonomia dos estudos dos alunos com deficiência visual por meio do MCT.

Segundo Kastrup (2007), diversos estudos relatam que as pessoas com a visão comprometida, apresentam os sentidos do tato e da audição mais desenvolvidos do que as pessoas que possuem as funcionalidades de uma visão saudável.

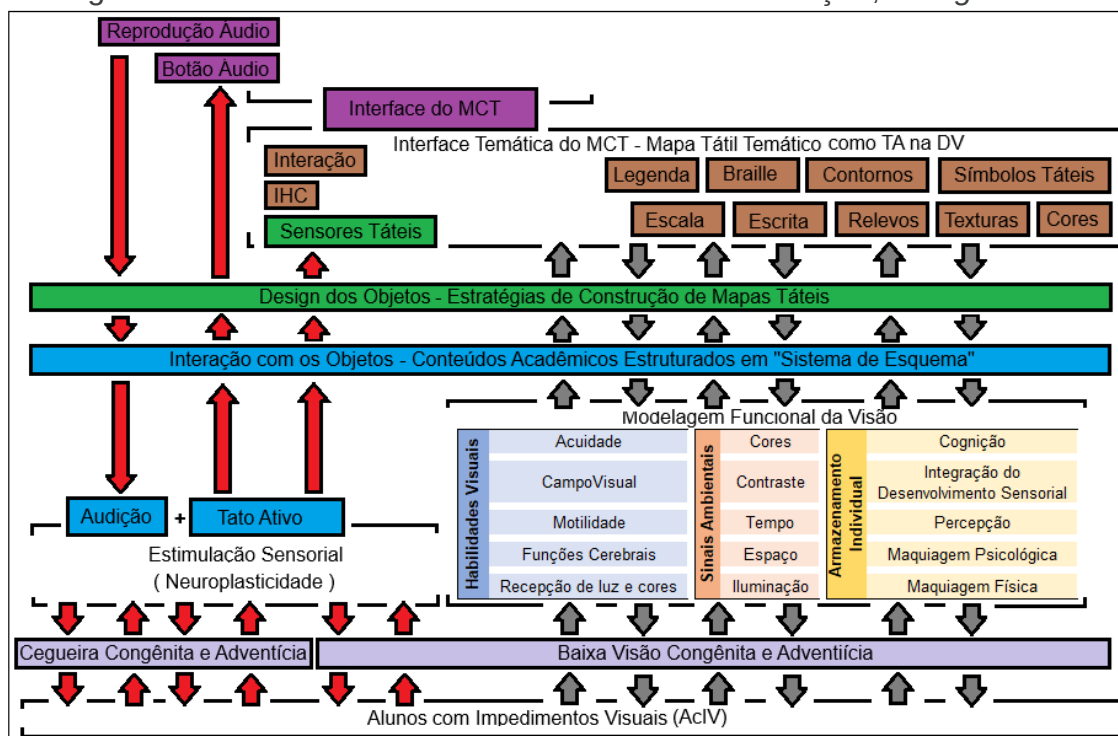
Conforme a pesquisa apresentada por Silva Junior (2018), os participantes com deficiência visual que utilizaram o mapa tátil que uniu os sentidos do tato e da audição de forma simultânea aos conteúdos acadêmicos, obtiveram um aumento na qualidade do ensino por permitir aos alunos com DV absorverem um conteúdo mais extenso por meio da sua divisão em pequenos trechos relacionados aos 43 sensores táteis distribuídos em um mapa tátil.

Fóz (2009) e Gee *et al.* (2018) nos apontam importantes teorias que justificam a importância da estimulação precoce como uma estratégia valiosa para que a pessoa com deficiência visual tenha a oportunidade de melhor desenvolver a sua autonomia e melhorar a sua qualidade de vida, além de ser municiado de técnicas visuais e sensoriais na utilização, principalmente, do tato e da audição na promoção de um aproveitamento acadêmico mais elevado.

No caso das pessoas cegas, a estimulação dos sentidos remanescentes é uma estratégia primordial e no caso das pessoas de baixa visão, a estratégia da estimulação da visão funcional adicionada, também, à estimulação dos sentidos, garante bons resultados acadêmicos a esses educandos.

A Modelagem Conceitual das tecnologias assistivas, compreendeu em apresentar os recursos mais eficientes, geralmente, utilizados em apoio ao ensino e à aprendizagem de alunos com deficiência visual, Figura 55.

Figura 55 – O conceito do MCT – Matrizes da Interação, *Design* e TA.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Esta matriz, nos permitiu compreender o quanto o recurso educacional dos mapas táteis é importante como tecnologia assistiva empregadas no ensino e na aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

A pesquisa realizada por Silva Junior (2018) incorpora recursos computacionais aos mapa táteis, maximizando as suas funcionalidades, permitindo que esses mapas sejam muito mais interativos e dinâmicos ao embarcarem microcontroladores que monitoram os sensores táteis, reproduzam audiodescrições, trabalhando com muito mais cuidado e técnica a forma em que foram construídos, não somente em suas formas, cores, texturas e escritas, mas utilizando as melhores estratégias técnicas para obter um eficiente recurso educacional que seja universal e atenda as demandas dos educandos.

Na pesquisa de doutorado, apontamos os mapas táteis como recursos educacionais de infinitas possibilidades funcionais e de conteúdo, principalmente, quando utilizamos meios computacionais implementados, pois o mapa tátil é utilizado como a interface do sistema embarcado nele, assim, com uma única infraestrutura computacional é possível gerenciar diversas interfaces temáticas, essa é a técnica utilizada pelo MCT o que inovou e se diferenciou do

mapa desenvolvido na pesquisa de mestrado, que se utilizava somente de uma temática.

A Modelagem Conceitual do *Design* dos Objetos nos permitiu o acesso aos recursos que entregaram as características do design de objetos aplicados ao desenvolvimento de TA educacionais acessíveis para alunos com deficiência visual, Figura 55.

O *design* é muito importante como matriz conceitual para a pesquisa, pois na pesquisa em campo, realizada por Silva Junior (2018), a temática abordada por um objeto, isto é, a informação que esse objeto deseja transmitir, deve ser transmitida em seus detalhes e pela forma em que ele foi construído.

Um exemplo foi o mapa da Região Sudeste do Brasil, desenvolvido por Silva Junior (2018), por possuir em sua forma o formato da região e qualquer pessoa que tiver acesso a ele, em primeiro contato, deve conseguir identificá-lo.

Uma característica muito importante para uma boa construção de *design*, principalmente, quando esse mapa tátil possui recursos computacionais é o de implementar requisitos autoexplicativos que permitam aos alunos, interagirem de forma fluída e que permita o início e o término dos estudos com esses mapas com o menor auxílio possível por parte dos docentes ou dos profissionais de apoio educacional.

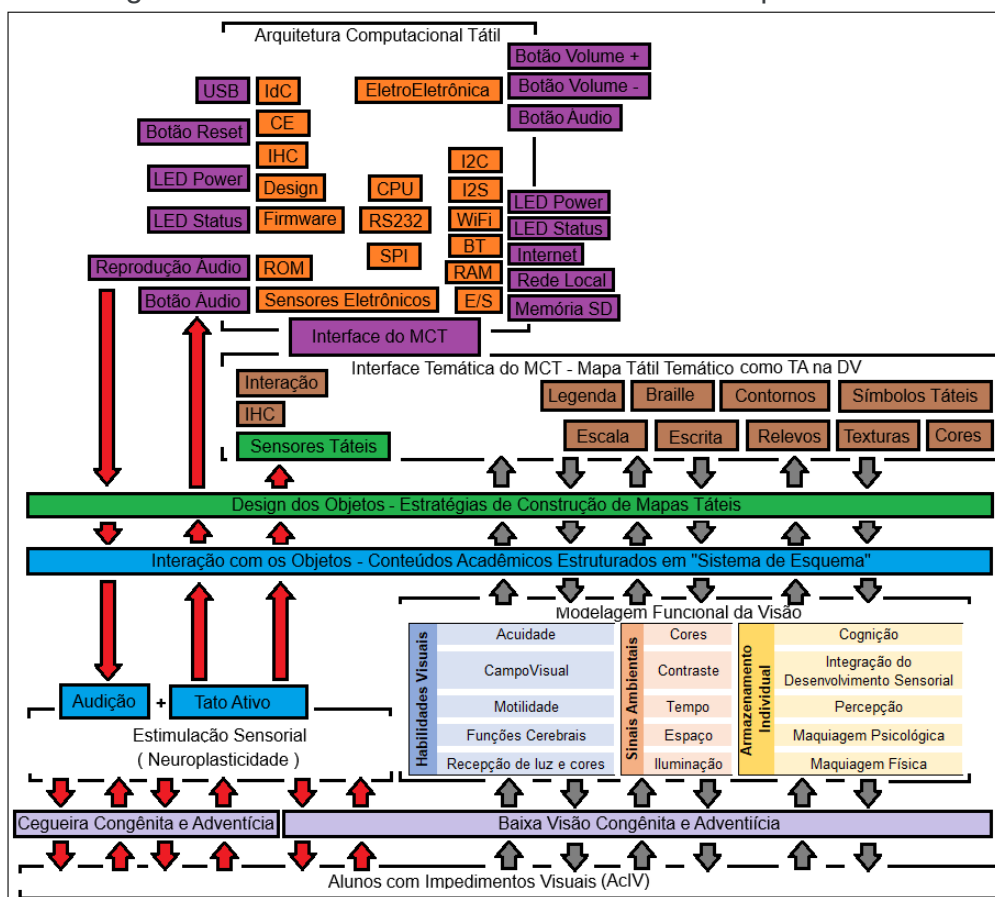
A Modelagem Conceitual da Interação com os Objetos contribuiu com as estratégias interativas que puderam agregar funcionalidades eficientes no suporte ao ensino e à aprendizagem de alunos com deficiência visual, Figura 55.

Inferimos que o *design* e a interação com os objetos seriam conceitos que caminham juntos, e de fato é isso que ocorreu na modelagem conceitual do MCT, aplicamos o *design* no processo de construção física das interfaces, dos mapas táteis em suas cores, texturas, símbolos táteis, etc.

Já a interação com o objeto foi desenvolvida na forma em que o estudo desse mapa tátil foi conduzido, pois um grande volume de informações foi dividido entre os sensores táteis, interagindo entre si e outra estratégia utilizada foram os comandos de localização do próximo símbolo a ser acessado pelo aluno, permitindo a autonomia em seus estudos, assim, o estudando consegue de uma forma autoexplicativa iniciar os estudos e navegar pelo mapa tátil até o término desse estudo.

Apresentamos a última matriz conceitual, a computacional, Figura 56.

Figura 56 – O conceito do MCT – Matriz Computacional.



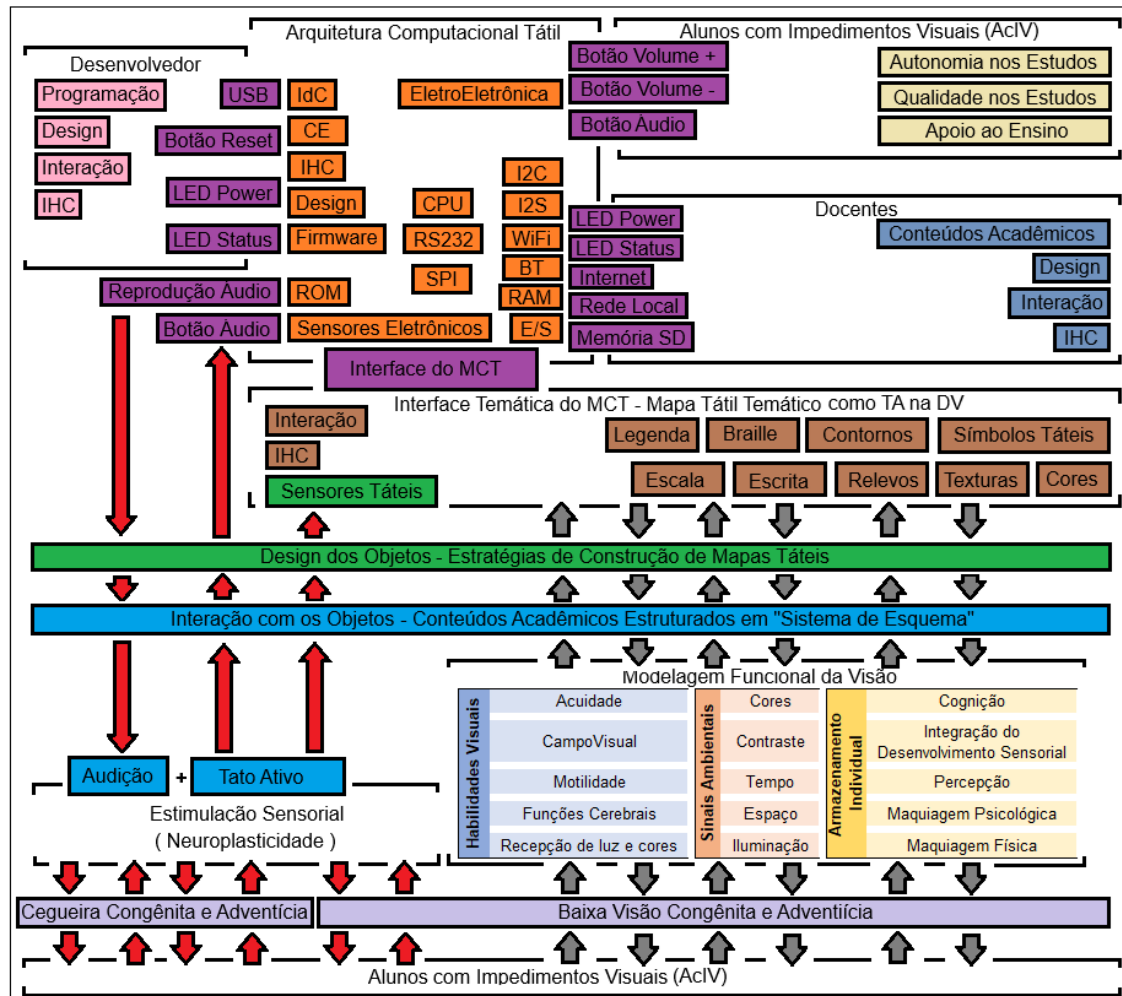
Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A Modelagem Conceitual Computacional: explora as tecnologias computacionais voltadas para o desenvolvimento de uma infraestrutura tecnológica interativa, econômica, escalável, universal, multidisciplinar, conectada, flexível e adaptável, conforme ilustrado na Figura 56.

Essa matriz conceitual entregou os requisitos de *hardware* e de *firmware* necessários para o atendimento do objetivo geral da pesquisa e, principalmente, dos usuários que são os atores no sistema do MCT. Apresentaremos mais detalhes, juntamente, com os atores do sistema.

Na Figura 57, apresentamos os atores que são os protagonistas da pesquisa, que permitiram com que a aplicação do conceito do MCT fosse embarcada aos mapas táteis, na prática, por meio da sua utilização no ambiente educacional em campo.

Figura 57 – O conceito do MCT – Atores do Sistema.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

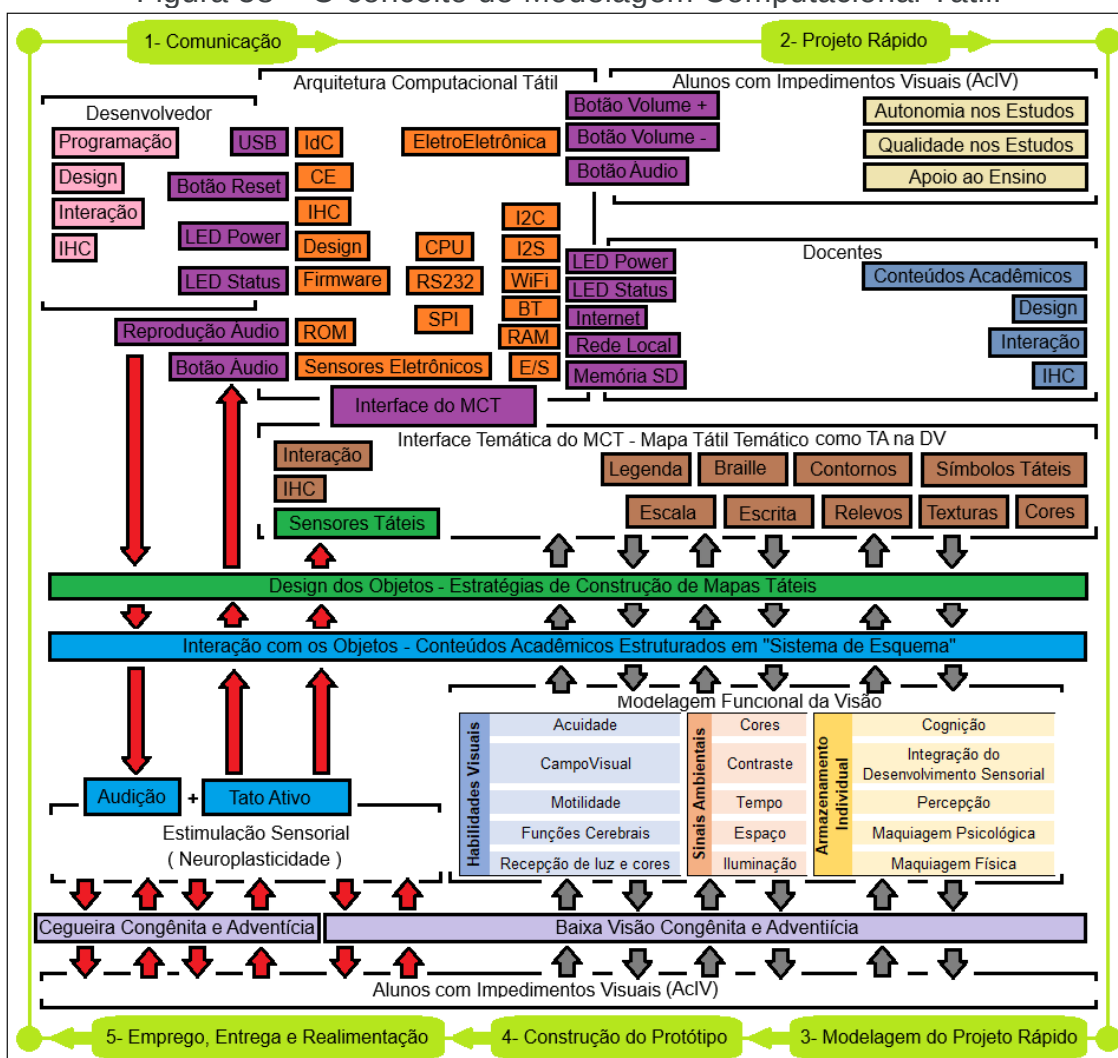
Em atendimento ao desenvolvedor como ator da modelagem do MCT, a matriz computacional entregou a interface USB (*Universal Serial Bus*), permitindo a conexão do computador tátil à plataforma de desenvolvimento do *firmware*, implementamos, também, um botão de *reset* do sistema, um led vermelho de *Power* e um led azul de *Status*, que permitiu aos usuários identificar o comportamento do sistema por meio dessa estratégia.

Os alunos com deficiência visual se beneficiaram do reproduzidor de áudio que executou os arquivos das audiodescrições locais ou remotas sobre os conteúdos acadêmicos; do botão de áudio que permitiu ao aluno acioná-lo para ouvir a audiodescrição em referência ao sensor tátil em que ele desejou escutar e também para desligar a áudio descrição que estiver sendo reproduzida; e o controle de volume mais e menos do sistema.

Os docentes interagir com o sistema do MCT por meio dos LED de *Power* e *Status* (monitoram o sistema); a conexão e configuração à Internet para o acesso ao repositório dos conteúdos acadêmicos audiodescritos e a memória local, via SDCard, que armazena os conteúdos acadêmicos das audiodescrições locais, isto é, acessadas sem que o sistema tenha a conexão à Internet.

Os alunos com deficiência visual também acessam o sistema por meio da interface que foi conectada a cada mapa temático, sendo capaz de identificar diversas temáticas acadêmicas, utilizando somente uma arquitetura computacional o que permite atender ao objetivo geral da pesquisa pela sua escalabilidade, mantendo as características de desenho universal.

Figura 58 – O conceito de Modelagem Computacional Tátil.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na relação entre as seis matrizes conceituais identificadas, adicionadas à participação dos atores que são os protagonistas para a aplicação conceitual do sistema e a forma em que todo o sistema foi desenvolvido, que por meio da Interface Homem Computador, em colaboração com a metodologia da prototipagem evolutiva, temos a concepção do conceito de Modelagem Computacional Tátil, o MCT, Figura 58.

O conceito de modelo computacional tátil, Figura 58, foi elaborado, unindo os requisitos entregues por meio dos conceitos relacionados entre as seis matrizes conceituais enumerados na pesquisa.

Podemos definir o conceito de diversas maneiras, dependendo da abordagem filosófica, psicológica, linguística ou científica adotada.

Em geral, um conceito é uma representação mental que organizamos para compreender, classificar e interagir com o mundo.

Na filosofia, um conceito é uma unidade fundamental do pensamento.

Para Platão, os conceitos são formas ideais, enquanto para Aristóteles, são categorias que estruturam nosso conhecimento (Aristóteles, 2003).

Já Kant (1999) argumenta que os conceitos são esquemas mentais que organizam a experiência sensível.

Na psicológica cognitiva, os conceitos são estruturas mentais usadas para processar e categorizar informações (Spinillo; Roazzi, 1989).

Nos aprofundamos sobre a elaboração de um conceito, recorrendo à Ciência da Informação, mais em específico, à teoria do Conceito de Ingetraut Dahlberg (1978), que aborda o conceito como uma unidade de conhecimento que representa um objeto ou ideia, baseado em suas características essenciais e relações com outros conceitos, assim, como idealizamos com as seis matrizes.

A autora aborda em sua teoria uma estruturação rigorosa da informação, sendo muito utilizada na classificação do conhecimento, na organização da informação e na indexação, propondo três elementos fundamentais para a definição de um conceito: a Designação (termo que nomeia o conceito); a Intensão (conjunto de características que definem o conceito) e a Extensão (conjunto de objetos aos quais o conceito se aplica).

Nesse sentido, a teoria do conceito de Dahlberg (1978) enfatiza a necessidade de padronização conceitual, em que sistematizamos:

- **A Designação:** Modelagem Computacional Tátil;
- **A Intensão:** Unir, simultaneamente, os sentidos do tato, da audição e da visão funcional remanescentes aos conteúdos acadêmicos em apoio ao ensino e à aprendizagem, promovendo a qualidade e a autonomia nos estudos das pessoas com deficiência visual, em qualquer área do conhecimento; e
- **A Extensão:** Modelo computacional; arquitetura do computador tátil; interfaces temáticas; mapas táteis; Tecnologia Assistiva; prototipagem evolutiva; *Design* dos objetos; Desenho Universal; interação; interdisciplinar; e escalável.

Assim, nos apropriamos da teoria de Dahlberg (1978) para elaborar o seguinte conceito de Modelagem Computacional Tátil:

A Modelagem Computacional Tátil é um modelo computacional, gerido por uma arquitetura de um computador tátil, que monitora diferentes interfaces temáticas, atuantes como mapas táteis empregados como tecnologia assistiva, desenvolvidos por prototipagem evolutiva, aplicando o *design* dos objetos, de desenho universal, interativos, interdisciplinares, escaláveis, que permitem a união simultânea dos sentidos do tato, da audição e da visão funcional remanescentes aos conteúdos acadêmicos, apoiando o ensino e a aprendizagem, promovendo a qualidade e autonomia nos estudos das pessoas com deficiência visual, em qualquer área do conhecimento.

Em outras palavras, o MCT combina as seis “matrizes” conceituais desenvolvidas ao longo do primeiro objetivo específico desta pesquisa:

- 1) **Especificidades da Deficiência Visual** (cegueira, baixa visão e visão funcional remanescentes, seja ela congênita ou adventícia);
- 2) **Neuroplasticidade** (valorização do tato e da audição);
- 3) **Tecnologias Assistivas** (mapas táteis, Braille, audiodescrição, etc.)
- 4) **Design dos Objetos** (*affordances*, *feedback*, esquemas interativos, cores, texturas, formatos, etc.)
- 5) **Interação com os Objetos** (fluxo de navegação, fragmentação do conteúdo acadêmico em símbolos táteis, gamificação dos conteúdos, etc.)

6) **Modelagem Computacional** (microcontroladores, *hardware*, *firmware*, prototipagem evolutiva, Internet das Coisas, protocolos, sensores táteis, reproduzidor de áudio, etc.)

A pesquisa atinge o primeiro objetivo específico ao elaborar o conceito de modelo computacional tátil.

No próximo item, apresentamos como desenvolvemos o modelo conceitual do MCT de forma prática, sendo utilizado em conjunto com as duas interfaces temáticas desenvolvidas na pesquisa em campo.

6.1.4 A verificação e o refinamento do conceito

Após a construção da modelagem conceitual, apresentamos como foi desenvolvida a infraestrutura do computador tátil que permitiu ser interconectada a diversas interfaces atendendo aos requisitos da pesquisa.

A teoria de refinamento do conceito de Koestler reconhece que a criatividade depende da capacidade de se traduzir a ideia em algo mais prático, correspondendo à etapa de verificação de Wallas.

Em atendimento a esta etapa de verificação de Wallas, o pesquisador e, também, desenvolvedor do sistema do MCT, aplicou o conceito de modelagem na prática e, para isso, definiu uma nova plataforma de desenvolvimento de *hardware* e *firmware* que seria o apoio tecnológico para a concepção do sistema.

Por meio da matriz conceitual computacional, temos que garantir a confiabilidade para o sistema não falhar; a manutenibilidade para o sistema em uma condição de falha, ele se corrija em um curto espaço de tempo; a disponibilidade para o sistema se manter disponível para seus usuários sempre que for requisitado; ser seguro não causando nenhum dano a seus usuários no decorrer de seu uso e manter a confidencialidade, garantindo o acesso restrito aos dados confidenciais produzidos pelo sistema, assim como defendido por Health (2003).

6.1.4.1 O *hardware* do Computador Tátil do MCT

Na pesquisa de doutorado, a plataforma Arduíno não seria viável, por possuir pouca memória flash e memória SRAM, Clock baixo, barramento de

somente 16 bits e sem suporte ao Wi-Fi nativo, o que inviabilizaria o desenvolvimento do MCT e a entrega dos requisitos computacionais em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

Atendendo aos requisitos de *hardware* do sistema do MCT, o pesquisador selecionou o ESP32-NodeMcu de 38 pinos, Figura 59.

Figura 59 – ESP32 – NodeMCU ESP-12.



Fonte: MakerHero (2024).

Na Figura 60, apresentamos as especificações do ESP32 que atenderam aos requisitos técnicos de infraestrutura computacional na Modelagem Computacional Tátil.

Figura 60 – As especificações básicas do ESP32.

• Microcontrolador: ESP32 • Velocidade do Clock: 240MHz • Conectividade: Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz e Bluetooth BLE 4.2 • Pinos I/O Digitais: 32 • Portas Analógicas: 16 • Número total de pinos: 38 • DAC: 2	• Tensão de Operação: 3,3 VDC • Tensão de Alimentação: 6 ~ 12 VDC • Corrente Máxima Pinos I/O: 20 mA • Memória Flash: 4 MB • SRAM: 520 Kbytes • ROM: 448 KBytes

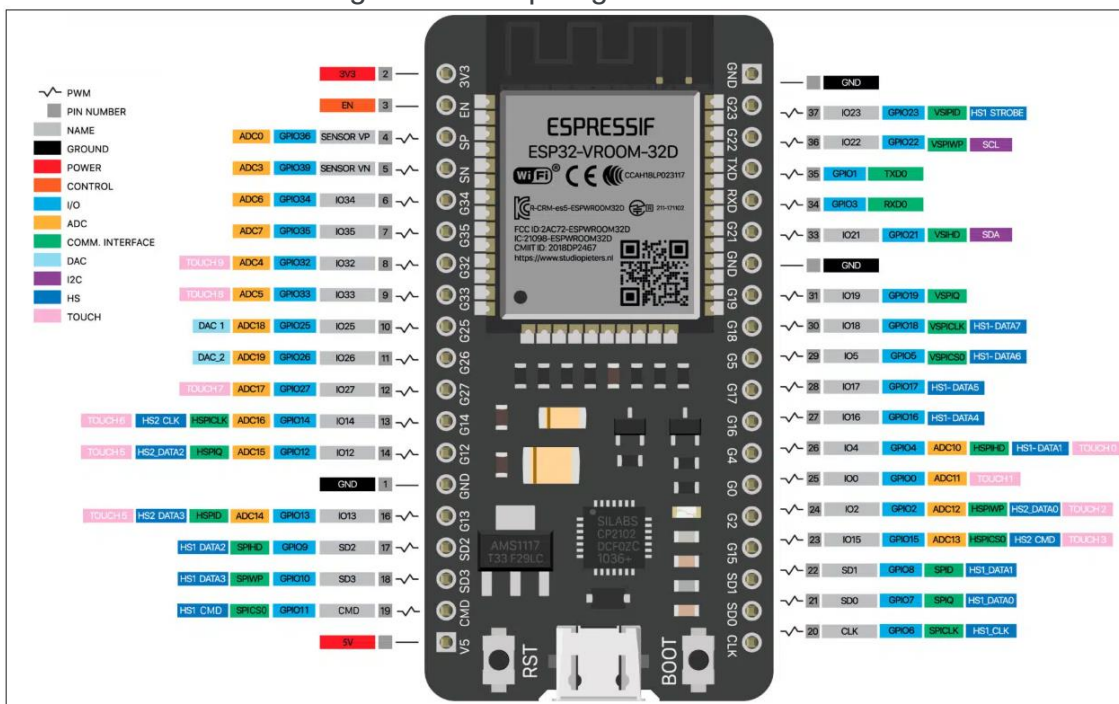
Fonte: Adaptado de MakerHero (2024).

Em comparação ao Arduíno Mega, o ESP32 possui aumento da capacidade de processamento em mais de 15 vezes, sendo equipado com um barramento de 32 bits, processador dual core de 240Mhz, suportando a diversos novos protocolos, Figura 60, e conectividade Wi-Fi de 2.4GHz e Bluetooth BLE 4.2 nativos.

A pinagem do ESP32 é ilustrada na Figura 61, possuindo 38 pinos em que muitos deles são multifuncionais, permitindo a implementação de diversos

protocolos de comunicação, muitas dessas funcionalidades nos permitiram adicionar outros módulos ao ESP32 em atendimento às demandas de *hardware* exigidas na construção da Modelagem Computacional Tátil por meio da concepção do computador tátil.

Figura 61 – A pinagem do ESP32.



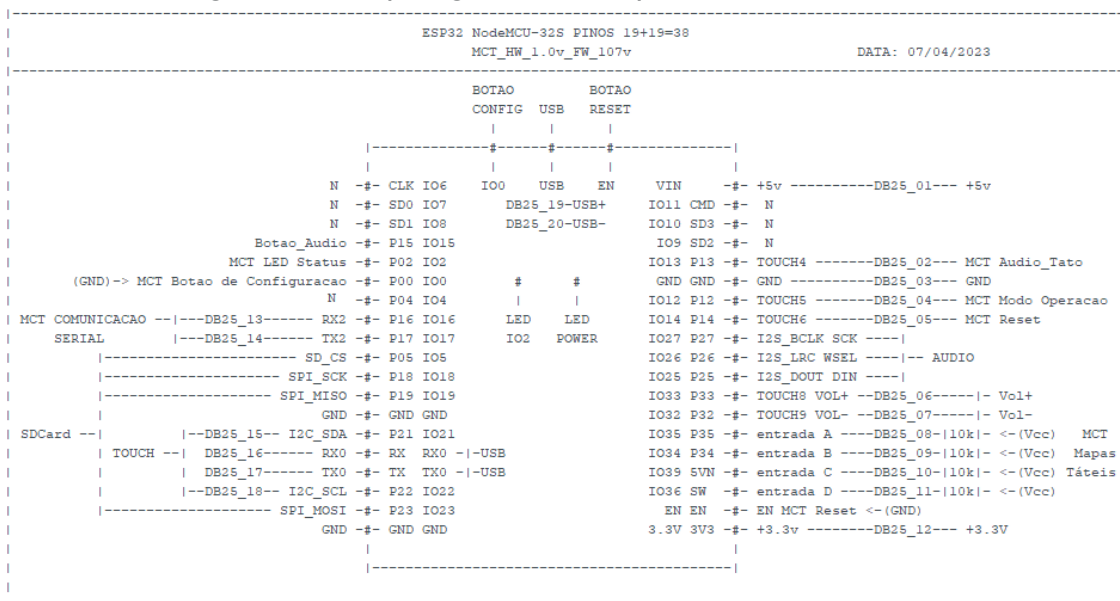
Fonte: Adaptado de MakerHero (2024).

Para definir as potencialidades de *hardware* entregues pelo ESP32 e os requisitos computacionais aproveitados na modelagem computacional tátil, mapeamos a pinagem do ESP32, Figura 61, em função, também, para definir quais seriam os módulos auxiliares adicionados ao projeto de *hardware* para entregar os requisitos e as funcionalidades que atenderiam as demandas do projeto.

Em atendimento a esta próxima etapa de construção, definimos a pinagem do computador tátil do MCT, Figura 62, em função dos requisitos computacionais identificados na pinagem definida pelo fabricante do ESP32, Figura 61.

Avançando além do que definir a pinagem do ESP32, mapeamos na Figura 62 a pinagem dos módulos eletrônicos, que em conjunto com os requisitos entregues pelo ESP32, atenderam as demandas em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

Figura 62 – A pinagem do Computador Tátil do MCT.

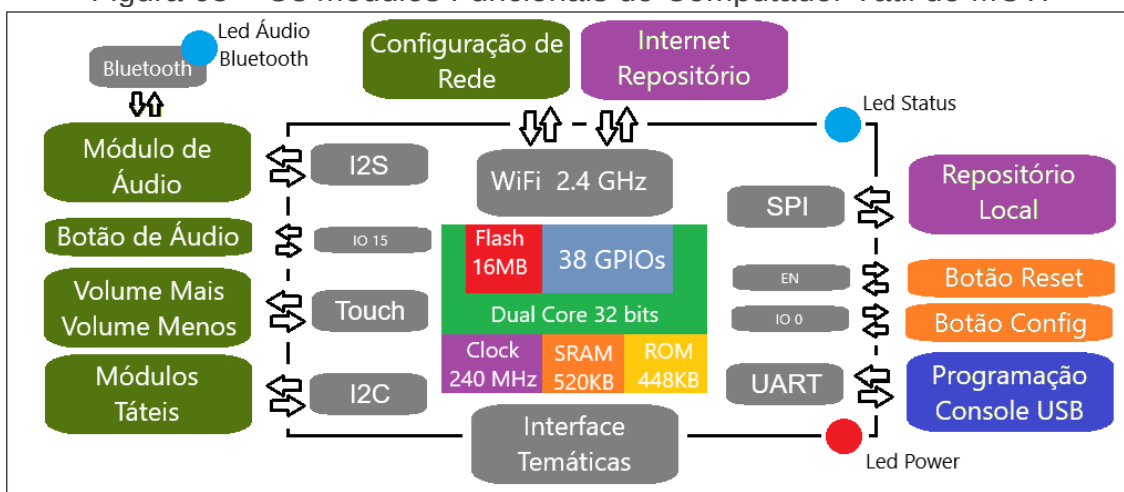


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 62, temos visão da pinagem completa do computador tátil e as suas ligações eletrônicas, definindo a arquitetura de *hardware* composta pelo computador tátil que é o cérebro da modelagem computacional tátil.

O computador tátil foi arquitetado e empregado no MCT, sendo ilustrado por meio da Figura 63.

Figura 63 – Os módulos Funcionais do Computador Tátil do MCT.



Fonte: Adaptado de Silva Junior (2018).

Para o desenvolvimento do computador tátil, aplicamos metodologia da Interação Humano Computador (IHC), teoria defendida por Engelbert (1962), que definiu o conceito da prototipagem Iterativa que nos permitiu buscar

compreender e aprimorar a comunicação entre os usuários e os sistemas computacionais.

A metodologia consistiu em testes exaustivos dos módulos na forma de suas configurações básicas até que se chegasse na configuração nas quais os requisitos básicos fossem entregues na ligação dos módulos e na forma em que todos os pinos foram interligados, conforme a versão final do Computador Tátil, Figura 63.

A prototipagem Iterativa nos permitiu testar o sistema na tentativa e erro até que chegássemos a uma determinada conexão dos módulos de *hardware* de forma em que o sistema se comportasse em atendimento aos requisitos de *hardware* a serem entregues ao monitoramento e controle do *firmware* especialmente desenvolvido para a pesquisa.

Foram testados diversos módulos que são compatíveis com o ESP32 até que se chegasse à infraestrutura que nos entregassem os requisitos compatíveis com o funcionamento no qual a pesquisa demandou.

Assim como ilustrado na Figura 63, o ESP32 entrega ao sistema dois cores de 32 bits a uma frequência de 240MHz, memória SRAM de 520 kB, memória ROM de 448 kB, memória Flash de 16 MB e 38 GPIOs.

O ESP32 é responsável por fornecer o serviço nativo de Wi-Fi na frequência de 2,4 GHz, permitindo que o usuário (aluno, pais ou professor) configure o ESP32 à Internet, Figura 63.

O ESP32 acessa via Internet o repositório on-line no Portal da “eduCAPES” que armazena as áudios descrições das interfaces temáticas do MCT (Exemplo da Célula Eucarionte Vegetal: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/918478>) (Exemplo da Célula Eucarionte Animal: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/918492>), Figura 63.

Por meio do *Secure Digital Card* (SDCard) que se conecta ao ESP32 via *Serial Peripheral Interface* (SPI) o usuário (Professor, pais ou aluno) configura o Wi-Fi por meio do arquivo de configuração do Wi-Fi, o professor define o endereço de acesso ao repositório das interfaces no portal da eduCAPES por meio de arquivo de configuração e armazena o repositório local que mantém os arquivos em formato MP3 das audiodescrições das interfaces temáticas do MCT, Figura 63.

O módulo de áudio se conecta ao ESP32 por meio do protocolo de comunicação *Inter-Integrated Circuit Sound* (I2S) que reproduz os arquivos em MP3, via plug do tipo P2 ou via Bluetooth de áudio, com as audiodescrições que estariam armazenadas no repositório na Internet ou no repositório local do MCT, Figura 63.

Na falta de acesso à Internet o docente tem a opção de disponibilizar o acesso ao repositório local das audiodescrições das interfaces temáticas dos mapas táteis que seriam inúmeras, sendo reconhecidas, automaticamente, pelo sistema, assim que são conectadas ao computador tátil.

Cada módulo tátil fornece ao sistema 12 sensores táteis capacitivos que captam o tato do aluno de forma sensível e instantânea, está conectado ao ESP32 pelo protocolo de comunicação *Inter-Integrated Circuit* (I2C), que fornece suporte de ligação de até 4 módulos táteis, sendo reconhecido pelo ESP32 até 48 sensores táteis por canal I2C, Figura 63.

O pesquisador e desenvolvedor do sistema envia o programa do *firmware* do MCT ao ESP32 por meio de uma porta *Universal Serial Bus* (USB) no protocolo *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter* (UART), este programa de *firmware* foi desenvolvido pelo Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduíno configurado com os parâmetros técnicos do ESP32, Figura 63.

Em atendimento aos conceitos de *design* estabelecidos por Norman (2006) e às diretrizes de IHC propostas por Engelbert (1962), visando proporcionar uma melhor usabilidade e interação, o pesquisador e desenvolvedor disponibilizou botões para aumentar e diminuir o volume das audiodescrições, garantindo um maior conforto auditivo aos alunos com deficiência visual. Esses dois botões foram configurados por meio do *General-Purpose Input/Output* (GPIO) 33 e 32, utilizando a função *touch*, Figura 61, Figura 62 e Figura 63.

Também, em função do *design* e do IHC, implementamos o botão de áudio por meio do GPIO 15, que permitiu ao aluno ter mais controle sobre o acesso ao acionamento do tato em relação à reprodução da audiodescrição, pois a audiodescrição somente é reproduzida quando o botão do áudio está pressionado e ao ser liberado, assim, evitamos que o sistema execute acionamentos “fantasmas” (acionamentos errôneos). Este botão, também, tem

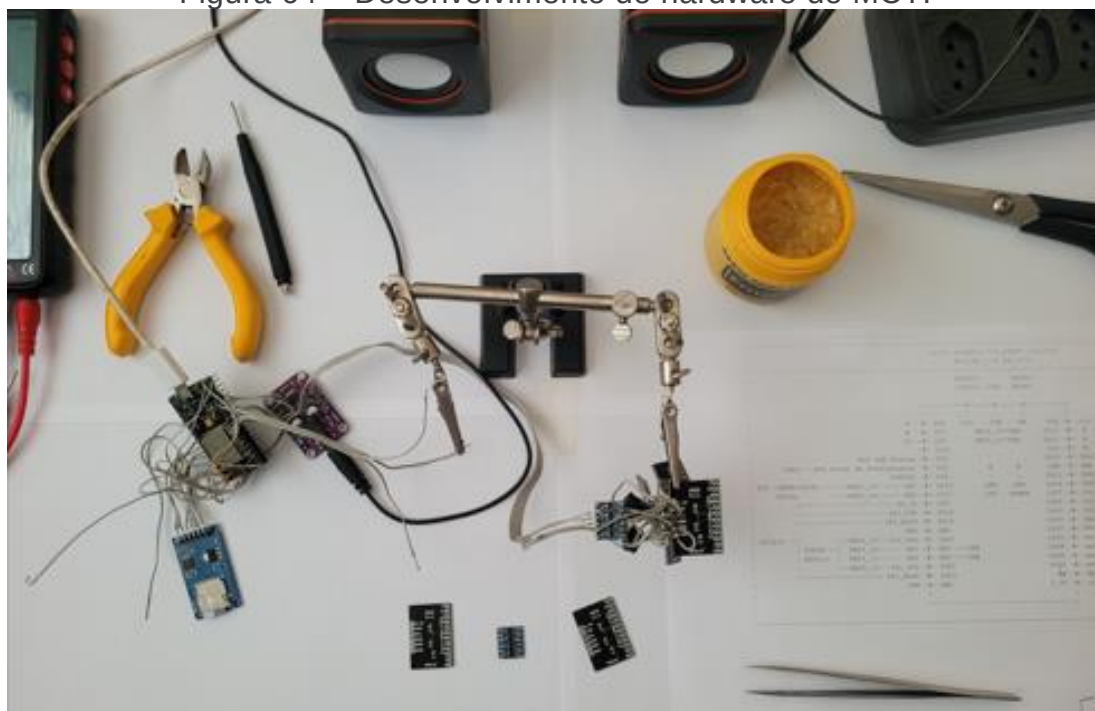
a função de parar a áudio descrição sendo pressionado por três vezes consecutivas, caso o aluno tenha identificado algum erro de acionamento, ou caso queira finalizar a audiodescrição por algum outro motivo.

Implementando a teoria de IHC, programamos a interação do led azul de Status que permite sinalizar aos usuários que algum áudio está em reprodução, o led vermelho indica que o computador tátil está alimentado pela fonte de energia de 5v e o led azul que sinaliza que o envio de áudio via bluetooth está ligado ou desligado, Figura 63.

Temos, ainda, implementados via *hardware* os botões de “reset” do sistema, que em caso de qualquer erro de execução o usuário reiniciaria o sistema e o botão de “*config*”, que inicia o modo de configuração do sistema, Figura 63.

Na Figura 64, observamos a construção física do Computador Tátil, o pesquisador soldou todos os módulos eletrônicos ao ESP32, conforme esquematizado na Figura 62.

Figura 64 – Desenvolvimento do hardware do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Após descrevermos a infraestrutura do ESP32, no próximo item, apresentaremos os resultados referentes à construção do invólucro que abrigou a eletrônica do Computador Tátil do MCT.

6.1.4.2 O *design* do invólucro do Computador Tátil do MCT

Diferentemente da pesquisa de mestrado, na pesquisa de doutorado o embarque do computador tátil não é definitivo, ele é temporário, permitindo que o aluno ou o professor realize o embarque do computador tátil em diversas interfaces temáticas, abordando a diversas áreas do conhecimento.

Com esta mudança de arquitetura computacional embarcada garantimos a funcionalidade interdisciplinar de forma escalável em atendimento ao objetivo geral da pesquisa.

O computador tátil de embarque temporário garante mais economia, flexibilidade e escalabilidade aos mapas táteis temáticos, por permitir que um único computador tátil possa ser reutilizado em diversos mapas táteis temáticos que abordem diversas áreas do conhecimento, pois o computador tátil é capaz de reconhecer diversas interfaces temáticas sem misturar os conteúdos acadêmicos.

A pesquisa projetou um novo invólucro que protege e permite o embarque do computador tátil por meio de um encaixe deslizante nas interfaces temáticas projetadas por meio da modelagem do MCT.

Nos itens a seguir, apresentaremos os requisitos entregues por meio da matriz conceitual de modelagem computacional e como desenvolvemos essa tecnologia do embarque computacional temporário em benefício da usabilidade e escalabilidade do MCT.

6.1.4.2.1 A modelagem em 3D do invólucro do MTC

A modelagem em 3D foi um dos requisitos entregues pela matriz conceitual de modelagem computacional que integrou a construção do conceito de modelagem computacional tátil.

A modelagem em 3D exigiu do pesquisador empenho no aprendizado para o domínio necessário da tecnologia, foram anos de estudos por meio de cursos disponíveis, basicamente, no YouTube sobre a configuração e a utilização do SolidWorks que é software de CAD 3D.

Após anos de cursos pela Internet e simulações de objetos modelados em 3D, percebemos que o SolidWorks não atenderia a pesquisa em função de seu

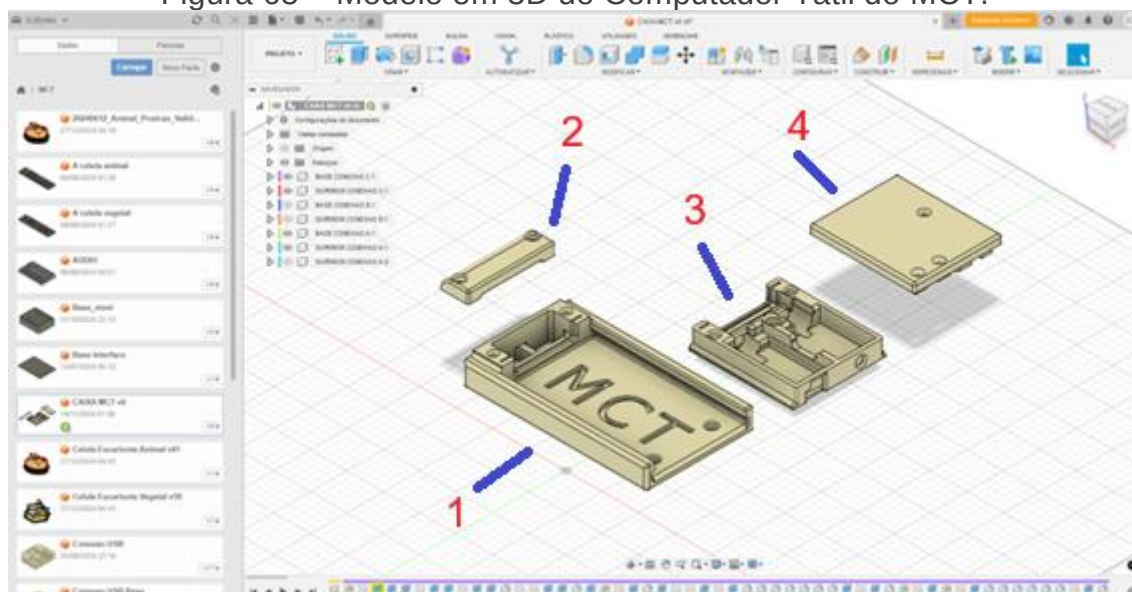
licenciamento pago e pelo uso de uma versão de utilização temporária, surgindo a necessidade de aprender as técnicas de modelagem em 3D por meio do Fusion 360 da AutoDesk que, também, é o software de CAD 3D.

Por meio da pesquisa acadêmica, tivemos acesso à licença educacional do Fusion 360 que permitiu a utilização de todos os recursos de CAD em 3D na utilização desse software.

Retomamos os diversos cursos práticos e gratuitos por meio do YouTube, que permitiram o domínio das técnicas de modelagem em 3D por meio da utilização do Fusion 360.

Na Figura 65, ilustramos a criação das quatro partes modeladas em 3D, que envolveram o invólucro deslizante do computador tátil do MCT.

Figura 65 – Modelo em 3D do Computador Tátil do MCT.

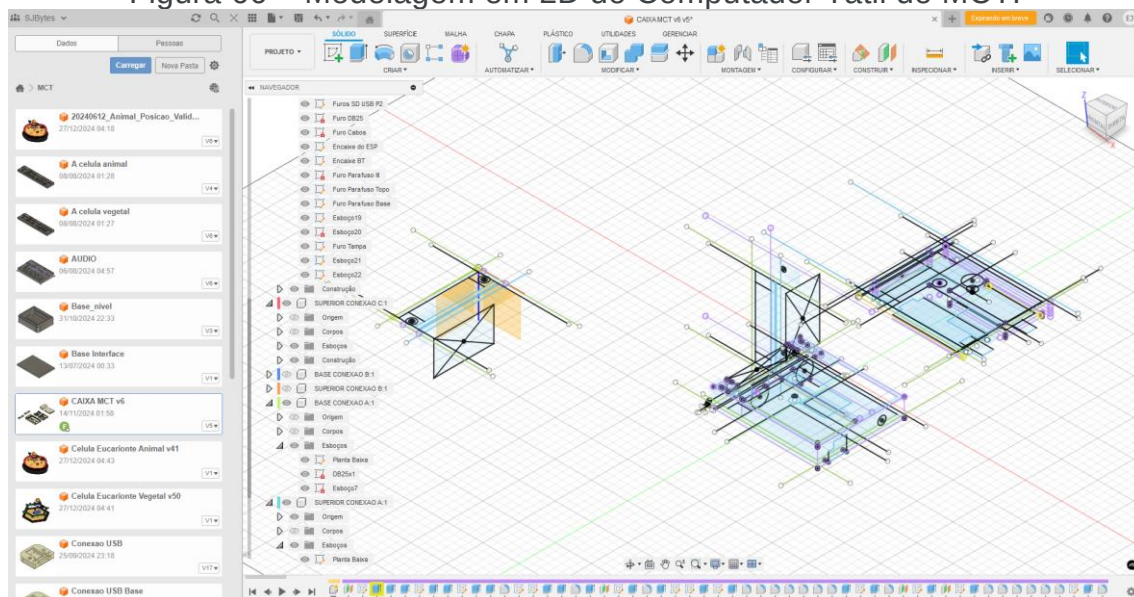


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O modelo de *design* desenvolvido para a construção do invólucro foi composto por quatro peças modeladas em 3D no Fusion 360, sendo que a peça 1 foi a base deslizante, desenvolvida para ser conectada na base das interfaces temáticas; a peça 2 foi a tampa superior da base deslizante que acomodou o conector BD25, utilizado para soldar os fios internos da eletrônica do computador tátil; a peça 3 acomodou o ESP32 e todos os módulos que envolveram a eletrônica do sistema e a peça 4 foi a tampa superior que fechou o invólucro do computador tátil, Figura 65.

Na Figura 66, apresentamos a forma em que as peças modeladas em 3D foram desenvolvidas no Fusion 360, primeiramente, esboçamos as formas geométricas em 2 dimensões com as medidas na casa dos milímetros e décimos de milímetros, posteriormente, definimos as formas em 3 dimensões como foi ilustrado na Figura 65.

Figura 66 – Modelagem em 2D do Computador Tátil do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Após a construção do esboço em 2D e a modelagem das peças em 3D o próximo passo é salvar o projeto no formato de arquivo estereográfico do tipo *Standard Triangle Language* (STL) que consiste em converter a massa dos objetos modelados em 3D de superfícies curvas em uma série de pequenos triângulos em que cada vértice é definido em três pontos: x, y e z que são as coordenadas cartesianas desse objeto.

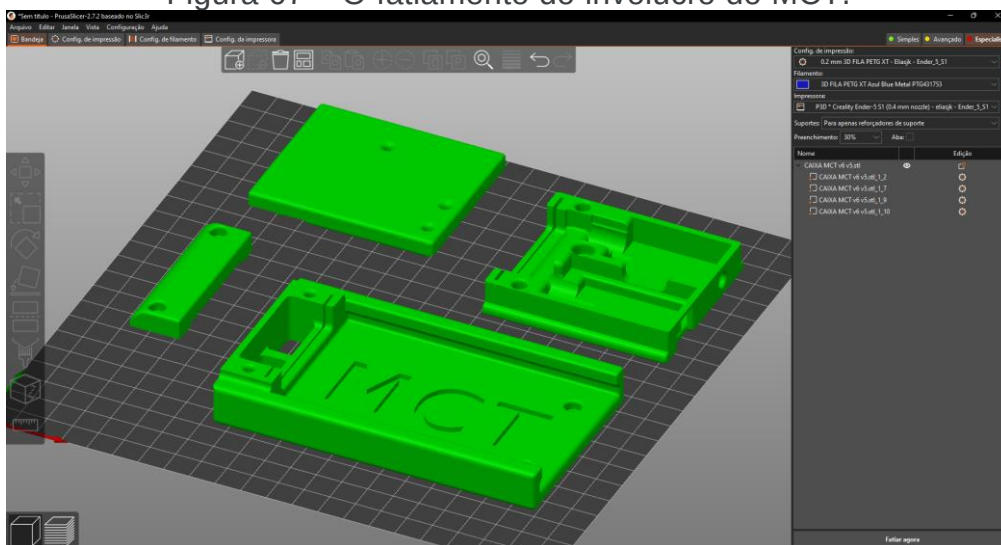
No próximo item, abordamos como realizar o processo de fatiamento do arquivo no formato STL.

6.1.4.2.2 O fatiamento em 3D do invólucro do MCT

O processo de fatiamento é importantíssimo na impressão em 3D, por ser nele que definimos os parâmetros dos comandos a serem executados pela impressora em 3D.

O arquivo no formato STL é carregado em um software de fatiamento, existem diversos, mas utilizamos o Prusa Slicer, cujo se define os parâmetros de configuração de impressão, como a espessura de cada camada, temperatura de aquecimento dos materiais, velocidade de impressão, densidade do preenchimento e a necessidade dos suportes para partes que possam ficar suspensas em relação à mesa da impressora. Carregamos as quatro peças em formato de arquivos em STL do invólucro do computador tátil, conforme ilustrado na Figura 67 no Prusa Slicer.

Figura 67 – O fatiamento do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

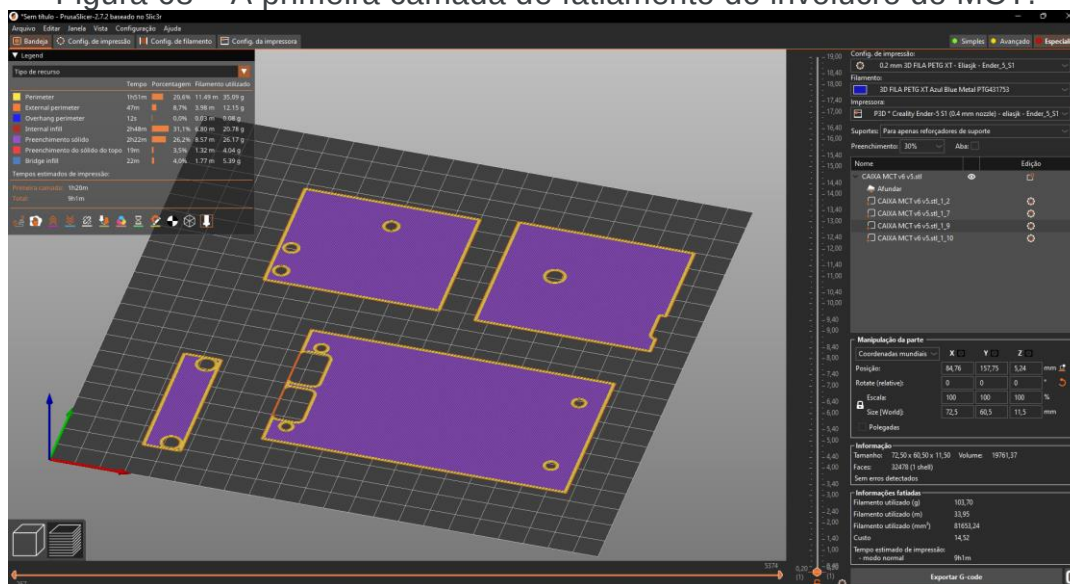
O processo se inicia quando o Prusa Slicer fatia modelo em 3D em diversas fatias horizontais, em que cada corte corresponde a uma camada que representa a interseção do modelo com um plano, gerando uma seção transversal do objeto.

Para cada uma das camadas, o software calcula as linhas de contorno, que são os perímetros, definindo as trajetórias na qual a extrusora (nome dado ao bico aquecido da impressora 3D que deposita o plástico derretido na mesa da impressora 3D) seguirá. Além disso, o Prusa Slicer define diversas outras configurações, como temperatura da extrusora, temperatura da mesa aquecida, configurações de sensores e gera os padrões de preenchimento para as áreas internas, garantindo a estrutura e resistência da peça.

O Prusa Slicer é um *software* gratuito que oferece uma visualização prévia do percurso de impressão, permitindo ao usuário identificar possíveis problemas,

tais como: falhas na geração de suportes ou trajetórias inadequadas, antes de iniciar a impressão, observamos a execução desse recurso na Figura 68.

Figura 68 – A primeira camada de fatiamento do invólucro do MCT.



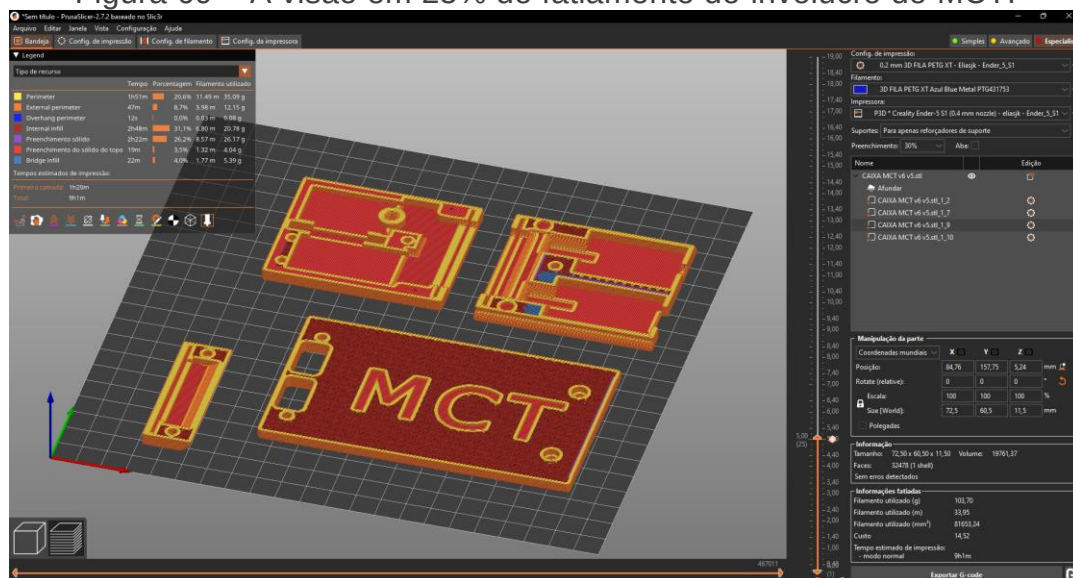
Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A primeira camada de fatiamento nas impressões em 3D é imprescindível para a qualidade e aderência da peça à mesa de impressão. No software de fatiamento, essa camada é processada com uma velocidade muito reduzida e um maior fluxo de material, para garantir que a peça fique bem fixada na base, permitindo que a impressão seja concluída com sucesso, Figura 68.

Na Figura 69, apresentamos o processo de fatiamento em 25% concluído, no fatiamento, definimos camadas mais finas, resultantes em uma impressão mais detalhada, enquanto as camadas mais grossas aceleram o tempo de impressão das peças, mas diminuem a sua resolução.

O fatiamento corrige problemas antes mesmo que eles ocorram, se o modelo tem uma geometria muito complexa, o software de fatiamento adicionaria suportes adequados para garantir que a impressão em 3D seja bem-sucedida.

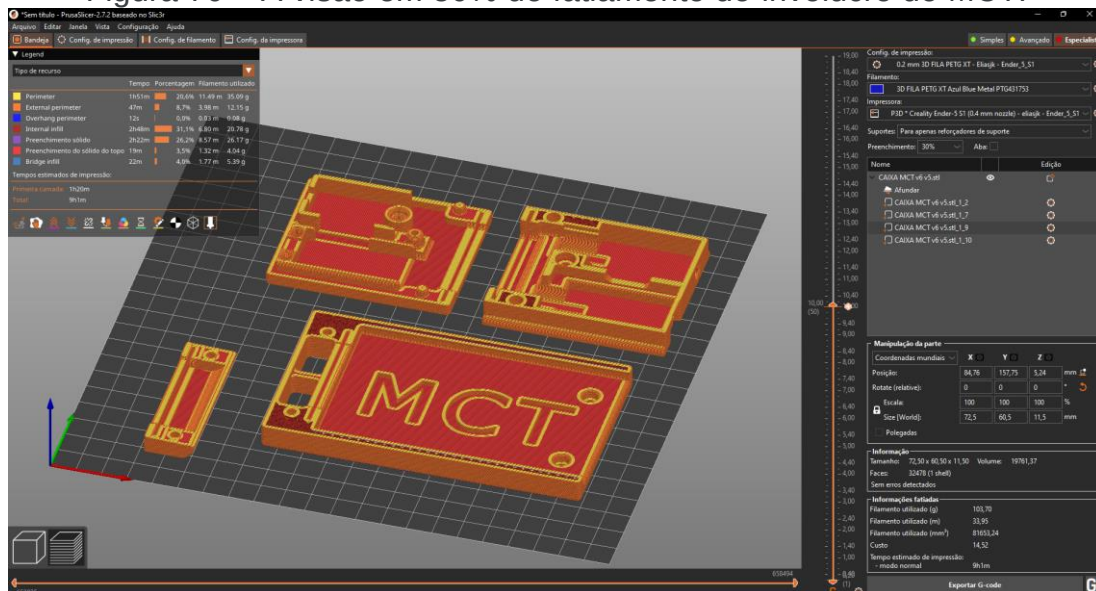
Figura 69 – A visão em 25% do fatiamento do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 70, apresentamos o processo de fatiamento em 50% concluído. A impressão 3D requer diversos ajustes no fatiamento para que a impressão seja bem-sucedida, no fatiamento, configuramos diversos parâmetros, tais como: a temperatura do bico e a velocidade de impressão, permitindo que o processo de impressão seja adaptado às necessidades específicas para cada projeto.

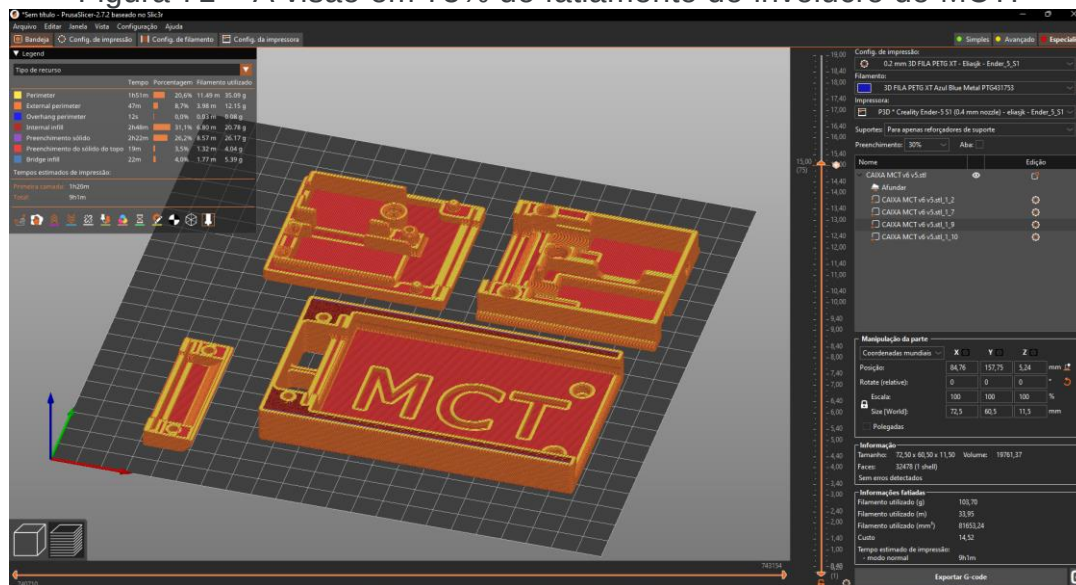
Figura 70 – A visão em 50% do fatiamento do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 71, apresentamos o processo de fatiamento em 75% concluído, o fatiamento, quando bem configurado, entrega uma impressão em 3D de boa qualidade e permite que o trabalho seja muito eficiente.

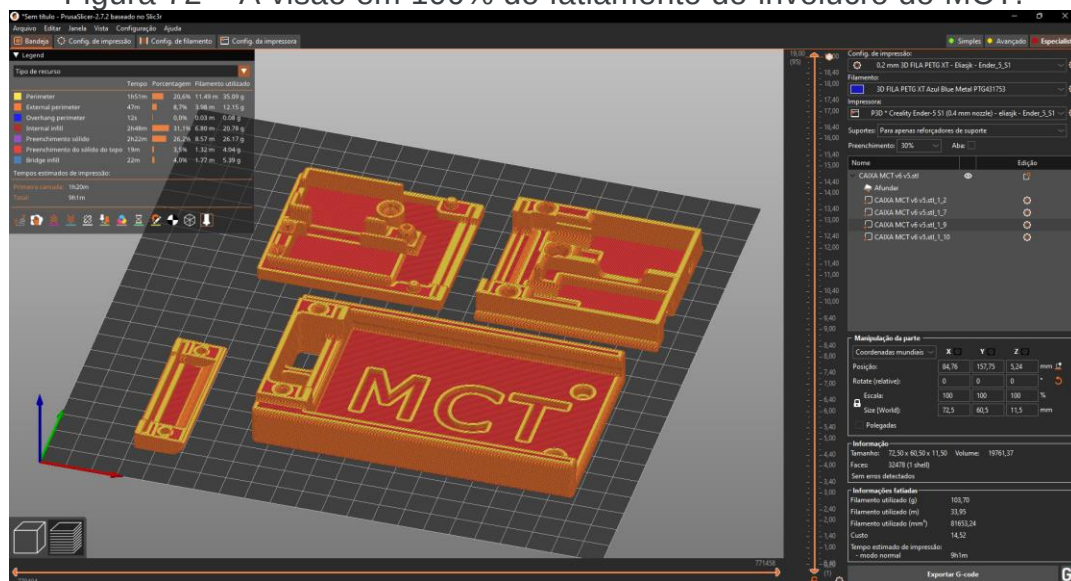
Figura 71 – A visão em 75% do fatiamento do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Com todas as camadas processadas, Figura 72, o Prusa Slicer converte essas informações em G-code, que é um conjunto de comandos que orienta a impressora 3D sobre movimentos nas direções X, Y e Z, controle da extrusora, velocidades e outras funções essenciais executadas pela impressora em 3D.

Figura 72 – A visão em 100% do fatiamento do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O arquivo no formato G-code organiza as operações em uma sequência lógica, começando com a preparação, como aquecimento e *homing* (posição iniciais de localização e posicionamento da extrusora), seguido pela impressão em 3D camada por camada, e finalizando com comandos de desligamento dos sistemas e resfriamento da extrusora e mesa aquecida.

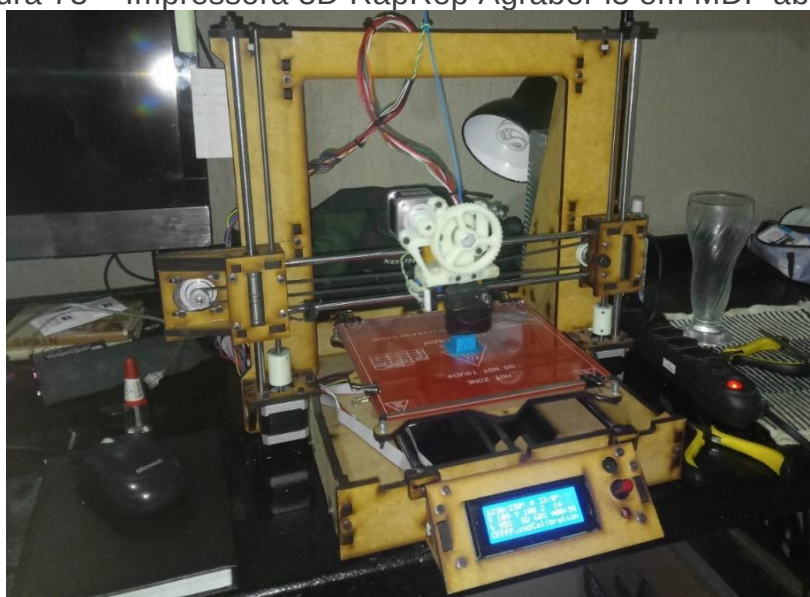
Após a construção do arquivo G-code o próximo passo foi o envio desse arquivo para a impressora 3D iniciar o processo físico de impressão de cada uma das peças que compõem a pesquisa.

No próximo item, apresentaremos como foram impressas as quatro peças do invólucro do computador tátil do MCT.

6.1.4.2.3 A impressão em 3D do invólucro do MCT

Em 2018, o pesquisador ainda em vias de finalizar a pesquisa de mestrado, iniciou os primeiros estudos sobre a tecnologia de impressão em 3D, adquirindo as peças necessárias para a montagem de sua primeira impressora 3D. A tecnologia era muito rudimentar, pois as impressoras em 3D no Brasil eram vendidas em kits via Internet, totalmente, desmontadas, desde os parafusos, polias, barras de aço, estrutura em MDF e baseadas em uma arquitetura de 16bits, sendo estruturadas em um hardware composto de um Arduíno Nano, conforme ilustrada na Figura 73.

Figura 73 – Impressora 3D RapRep Agraber i3 em MDF aberta.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O projeto RepRap (2021) (*Replicating Rapid Prototyper*) é uma iniciativa de código aberto, cujo objetivo é criar impressoras 3D capazes de imprimir muitas de suas próprias peças, promovendo assim a autorreplicação e a acessibilidade dessa tecnologia. O projeto se resume em impressoras 3D que imprimem impressoras 3D.

Todo o projeto, desde o seu *design* até o *firmware* e os *softwares* utilizados, estão disponíveis de forma aberta, permitindo que qualquer pessoa possa construir, modificar e melhorar a impressora, criando uma comunidade global de inovação e de compartilhamento de conhecimento sobre a tecnologia.

Por ser um projeto colaborativo, o RepRap (2021) evolui constantemente e a comunidade contribui com melhorias nos *designs*, novas funcionalidades e adaptações para diferentes materiais e aplicações, tornando a tecnologia cada vez mais evoluída, acessível e versátil.

O pesquisador montou a impressora 3D ilustrada na Figura 73, possibilitando a produção das primeiras peças modeladas e impressas em 3D, o que comprovou a viabilidade da pesquisa de mestrado ser evoluída na proposta da escalabilidade por prototipagem rápida, apresentada no objetivo geral da pesquisa de doutorado, submetida ao programa do PGCTIn.

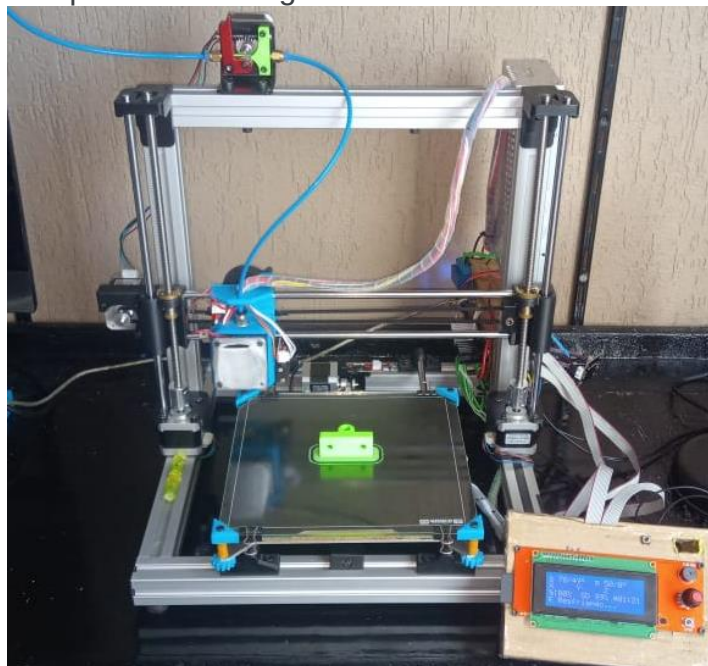
A impressora na versão da RepRap Agraber i3 era muito instável e exigia um esforço manual constante na sua montagem e na calibração, pois incluía ajustes finos de alinhamento e tensionamento, o que era bem complicado e demandava muito tempo e paciência.

A estrutura em MDF possui baixo custo, mas esse material não oferecia a mesma rigidez do alumínio, o que ocasionava muitas vibrações indesejadas durante a impressão, prejudicando a precisão dos movimentos e, conseqüentemente, a qualidade das peças impressas.

O MDF absorve muita umidade, o que causava deformações ao longo do tempo, o que comprometia a estabilidade estrutural da impressora, além de se desgastar mais rapidamente sob tensões mecânicas constantes, exigindo manutenções, ajustes ou substituições constantes.

Para solucionar esses problemas, aproveitamos a maioria das peças da Agraber i3, imprimimos novas peças em 3D e montamos uma nova versão de impressora 3D em *frame* de alumínio, conforme ilustrado na Figura 74.

Figura 74 – Impressora 3D Agraber 30i em frame de alumínio aberta.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Essa nova versão de impressora 3D, a Agraber 30i, projeto desenvolvido pelo Guardia (2025), apresentou diversas vantagens em relação à versão da RepRap (2021), principalmente, por utilizar um frame de alumínio, oferece mais rigidez e precisão, garantindo movimentos mais precisos, reduzindo as imprecisões nas peças impressas em 3D.

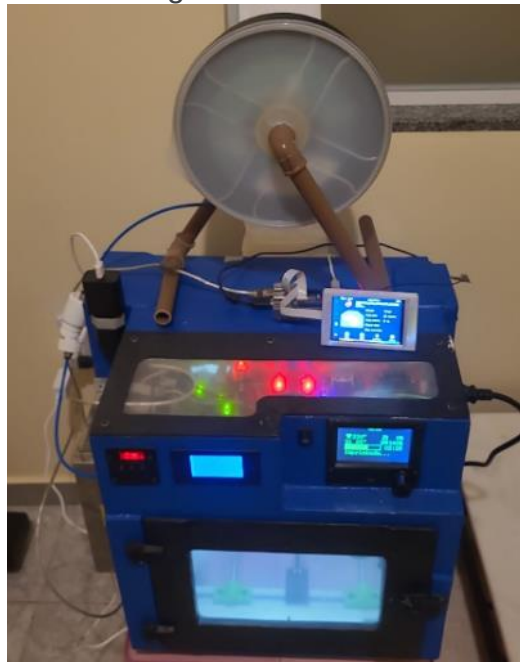
O frame de alumínio é resistente à corrosão e ao desgaste, proporcionando uma vida útil mais longa e exigindo menos manutenção, pois essas estruturas são menos sensíveis às variações de temperatura, o que é importante para manter a precisão durante longas operações nas impressões dos objetos em 3D.

Nesta versão, Figura 74, a impressora passou a atender muito bem aos requisitos de prototipagem rápida da pesquisa sem muitas falhas ou interrupções, gerando muito pouco retrabalho, uma vez que, já possuía sensores de nivelamento automático de mesa, *auto-homing*, sensor de filamento e nivelamento automático do eixo Z.

Os inconvenientes eram que a impressora era aberta, a superfície da mesa aquecida era de vidro e a eletrônica ficava desprotegida com vários fios espalhados pela impressora.

Na Figura 75, realizamos mais uma evolução no projeto da impressora para resolvermos alguns desses problemas.

Figura 75 – Impressora 3D Agraber 30i em alumínio fechada com MDF.

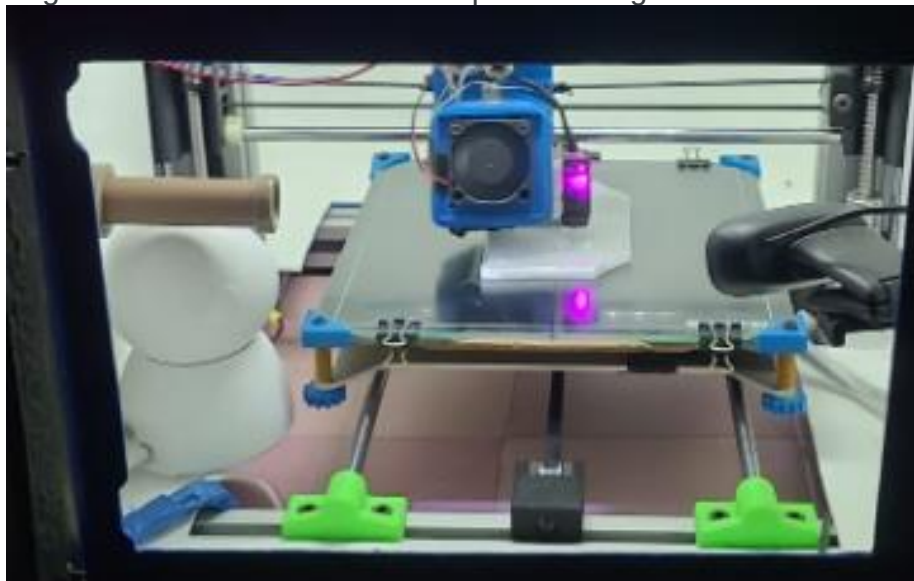


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Nesta última versão, Figura 75, organizamos os módulos eletrônicos da impressora, envolvemos a estrutura em alumínio com chapa em Eucatex, sendo um material bem mais resistente que o MDF, assim, transformamos a impressora aberta e uma impressora fechada, tornando-a imune às diferenças de temperaturas externas, aumentando a eficiência energética do sistema.

Na Figura 76, apresentamos os detalhes da área interna de impressão do sistema que permitiu maior eficiência no funcionamento da impressora 3D.

Figura 76 – Visão interna da impressora Agraber 30i fechada.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

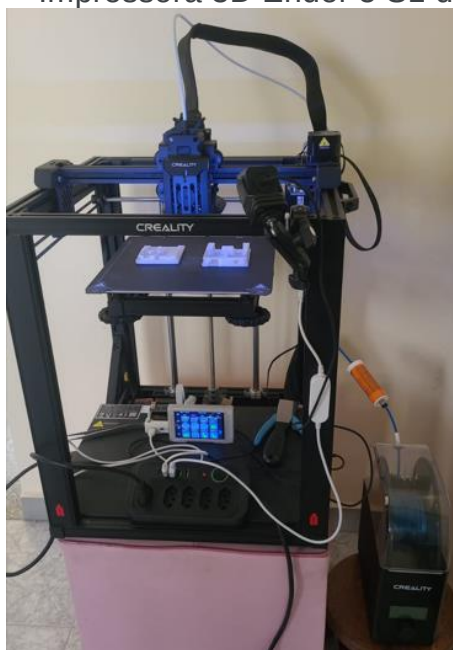
A Agraber 30i fechada foi a impressora totalmente desenvolvida para a pesquisa, permitindo ao pesquisador dominar todos os processos físicos, químicos e mecânicos que envolveram a impressão em 3D em seus mínimos detalhes, o que ajudou em muito no processo da prototipagem rápida por meio da tecnologia FDM no desenvolvimento do projeto do MCT.

A tecnologia que envolve a impressão em 3D do tipo FDM evoluiu muito desde o modelo utilizado pela Agraber i3, Figura 73, melhorando a eficiência mecânica do sistema, dos sensores, dos sistemas de tracionamento, da temperatura e da eletrônica embarcada nas impressoras 3D.

Em dezembro de 2023 adquirimos a primeira versão de impressora em 3D de arquitetura fechada a Ender 5 S1 da Creality, Figura 77, que possui a evolução de não utilizar mesa aquecida em vidro. O sistema da mesa aquecida é dotado de uma superfície metálica porosa que dispensa a aplicação de colas para prender a base das peças impressas, tornando o processo de impressão muito mais eficiente.

Essa tecnologia tornou a impressão em 3D muito mais fácil de ser executada, juntamente, com a união de outras tecnologias, como o *homing* automático, o nivelamento automático da mesa aquecida, o sensor de filamento e o sistema de aquecimento de filamento, que tornou o processo de impressão muito mais agradável e controlado via *firmware*.

Figura 77 – Impressora 3D Ender 5 S1 da Creality.

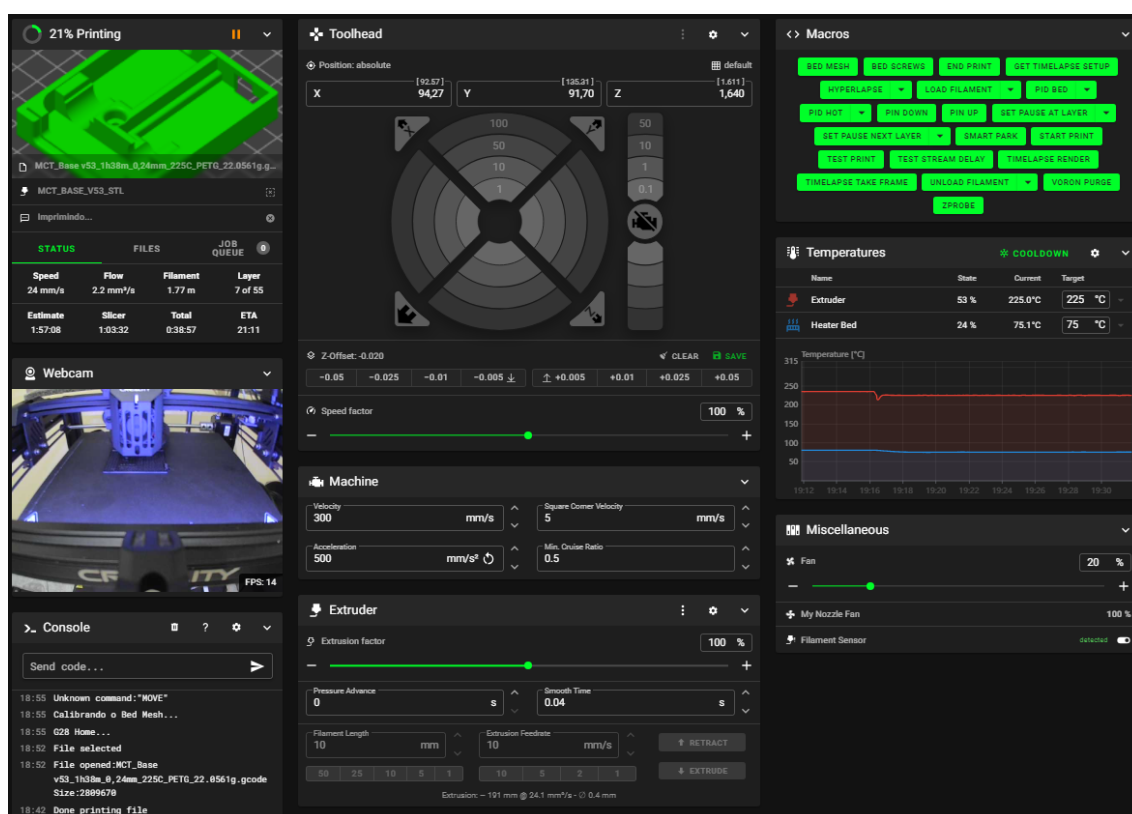


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A pesquisa contou o suporte da impressora Agraber i3 em frame de MDF que viabilizou a prototipagem rápida, com a Agraber 30i fechada em Eucatex obtemos a impressão dos primeiros protótipos relacionados aos invólucros do computador tátil do MCT em 3D e passamos a utilizar a Ender 5 S1 da Creality para imprimir todos os modelos dos protótipos desenvolvidos para a pesquisa evoluindo a modelagem do MCT.

Utilizamos, primeiramente, o Marlin como firmware de gerenciamento das impressões em 3D, mas migramos para o Klipper por ser muito mais intuitivo e funcional, possibilitando o gerenciamento remoto das impressões, Figura 78.

Figura 78 – Firmware do Klipper para Impressora 3D.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O klipper (2025) permite um gerenciamento completo em uma impressora em 3D, entregando uma série de serviços que aprimoram o desempenho, a qualidade e a flexibilidade durante o processo de impressão, realizando o processamento avançado do arquivo G-code e planejando os movimentos, resultando em movimentos mais suaves e eficientes.

Também, realiza a interpretação dinâmica para a distribuição das tarefas, possibilitando a execução de algoritmos complexos em tempo real, melhorando a resposta e a adaptação durante a impressão.

Realiza o controle preciso dos motores e ações em tempo real na geração de pulsos com alta precisão, pois o microcontrolador é responsável pela geração dos sinais de controle que são os pulsos para os motores de passo, garantindo a sincronização e a fidelidade na execução dos movimentos.

Possibilita o *feedback* e ajustes em tempo real, permitindo ajustes dinâmicos e possibilitando a correção de pequenos erros e a otimização do desempenho durante a execução do trabalho no momento em que as peças estão sendo impressas.

Possui a funcionalidade do *pressure advance*, que é um algoritmo que compensa o atraso na extrusão, garantindo que o fluxo do filamento seja controlado de forma a minimizar imperfeições em mudanças de velocidade ou direção; o *input shaping*, que é uma técnica usada para reduzir vibrações durante movimentos mais acelerados, resultando em impressões com maior qualidade em sua superfície.

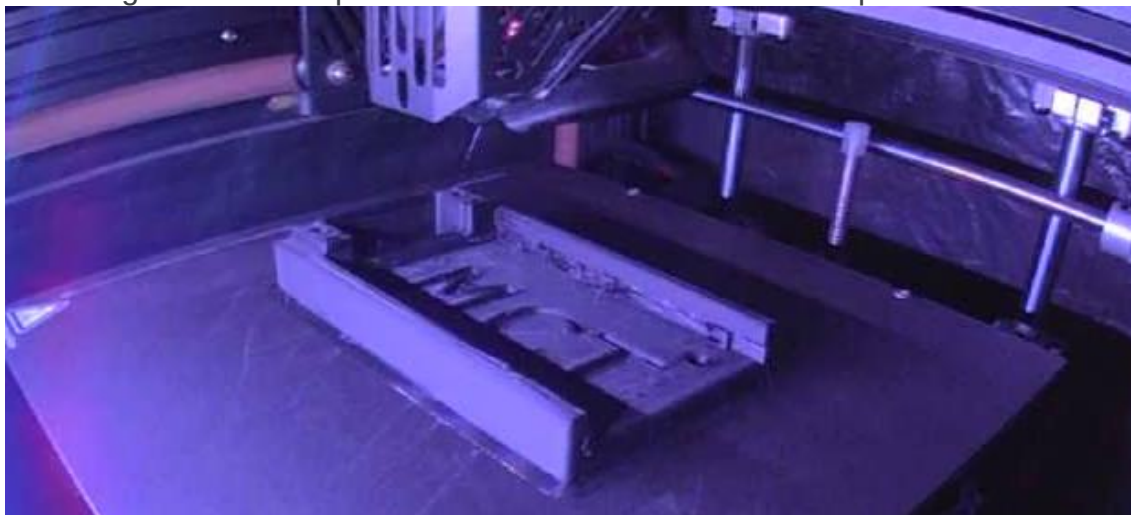
A configuração é realizada por meio de arquivos o que facilita e otimiza essa tarefa, ao tornar a calibração, os limites de velocidade e a aceleração muito mais simples e acessível nas transferências das configurações personalizadas de uma impressora para outra.

Possui um intuitivo monitoramento e diagnóstico de erros por permitir a emissão de logs e *feedback* detalhado, pois durante o processo de impressão, o Klipper oferece monitoramento contínuo, permitindo identificar e corrigir problemas rapidamente, além de fornecer informações para ajustes futuros.

Devido a todo esse estudo e cuidado de anos sobre os processos que envolvem a impressão em 3D a pesquisa avançou na impressão das peças utilizadas no invólucro do computador tátil e, futuramente, na impressão das interfaces temáticas desenvolvidas no decorrer da pesquisa em campo.

Na Figura 79, apresentamos os resultados obtidos com a impressão da peça de encaixe deslizante a ser fixada nas interfaces temáticas desenvolvidas em campo.

Figura 79 – A impressão da base deslizante do Computador Tátil.

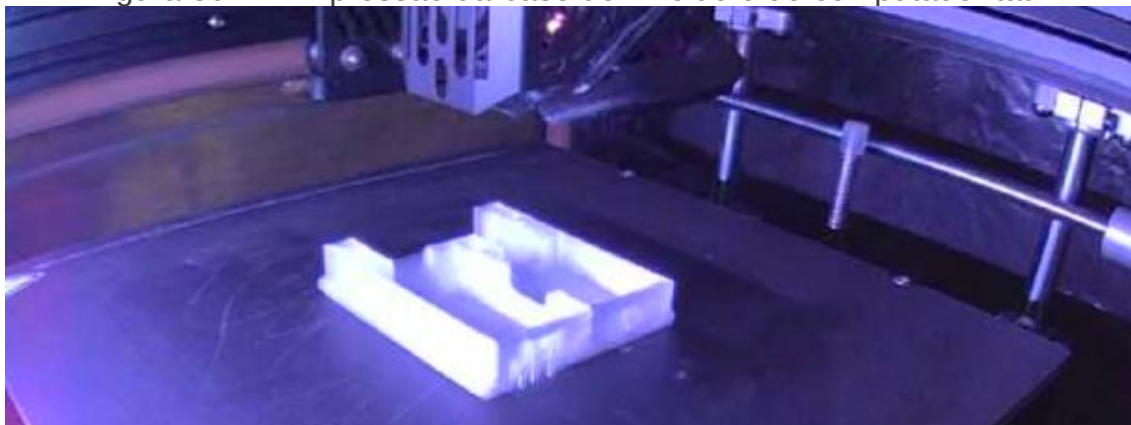


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

As versões iniciais foram impressas na Agraber 30i fechada, Figura 75, e as versões finais prototipadas das peças que formaram o invólucro que compõem o computador tátil foram impressos na impressora Ender 5 S1 da Creality, Figura 77.

A base do invólucro foi impressa e ilustradas na Figura 77, Figura 78 e Figura 80.

Figura 80 – A impressão da base do invólucro do computador tátil.

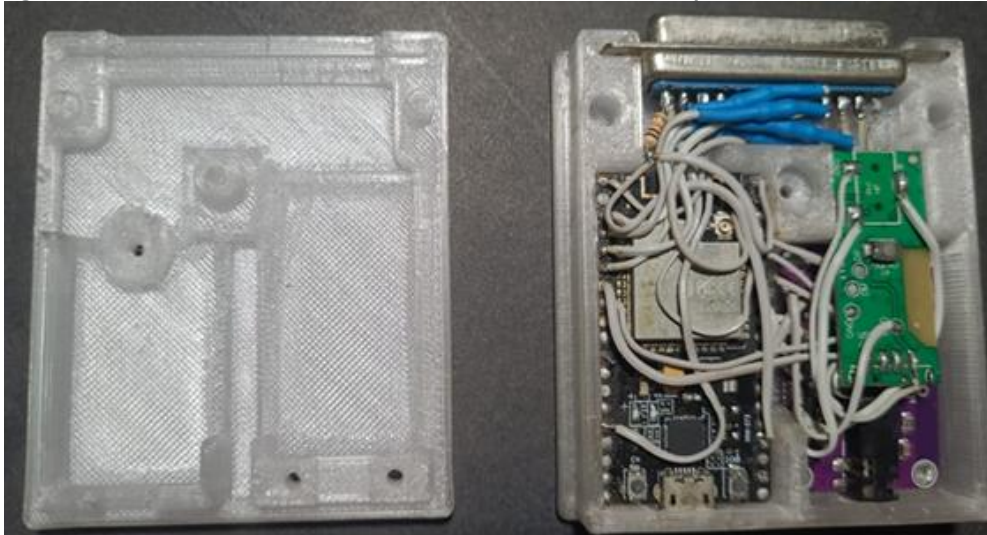


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Apresentamos na Figura 81, os detalhes da montagem interna do computador tátil composto pelo ESP32 e pelos módulos que integram o *hardware* do sistema.

A pinagem do DB25 fêmea foi ilustrada na Figura 62, correspondendo a todos os fios que ligam o computador tátil a cada interface temática conectada.

Figura 81 – A visão interna do invólucro do Computador Tátil do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na sequência, Figura 82, observamos a montagem completa do invólucro do computador tátil do MCT, apresentando a visão do perfil do conector serial fêmea DB25, que se encaixa, perfeitamente, no módulo deslizante que possui um conector serial DB25 macho, Figura 83.

Figura 82 – Interface DB25 do computador tátil.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 83, observamos o módulo deslizante que acopla o módulo do computador tátil.

Figura 83 – A visão interna da caixa deslizante do computador tátil do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Observamos o encaixe do módulo que compõe o computador tátil no módulo deslizante, Figura 84.

Figura 84 – O conjunto do invólucro do computador tátil do MCT.

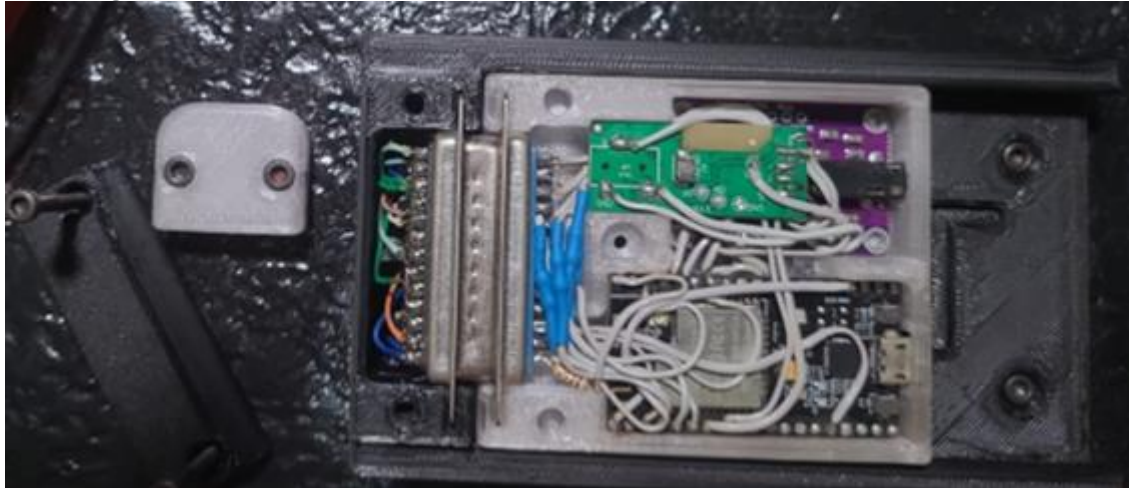


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O conector serial DB25 macho, instalado no módulo deslizante, foi, milimetricamente, alinhado com o conector serial DB25 fêmea, instalado no módulo que envolve e protege todos os componentes do computador tátil do MCT, conforme ilustramos na Figura 85.

O conector serial DB25, Figura 85, entregou a comodidade de interconectar até 25 fios que unem os componentes internos do computador tátil com os componentes que integram as interfaces temáticas que representam os conteúdos acadêmicos expostos pela modelagem do MCT na pesquisa.

Figura 85 – Módulos do MCT encaixados via conector serial DB25.

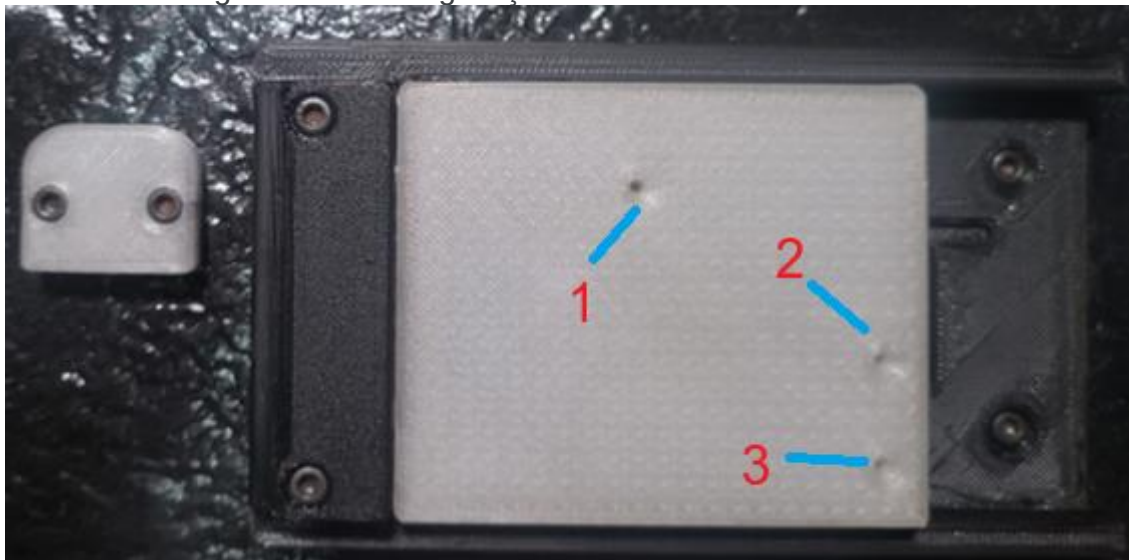


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 86, apresentamos o encaixe final dos módulos que compõe o invólucro do computador tátil e a visão do *hardware* observado pelo usuário final, docentes e alunos, do computador tátil do MCT.

Ainda nesta ilustração, temos a identificação dos botões de acionamentos, sendo o botão 1 que liga/desliga a conexão Bluetooth de áudio, o botão 2 que aciona o menu de configuração do sistema e o botão de reset do sistema.

Figura 86 – Configuração final do invólucro do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Por meio da observação da Figura 82, temos a vista traseira do conector serial DB25 fêmea, que se conecta na interface temática e na vista frontal do

módulo, Figura 87, temos as entradas do *SDCard* que armazena as áudios descrições e os arquivos de configuração Wi-Fi e do repositório hospedado na Internet, além do acesso ao conector do tipo P2 de fone de ouvido no qual o aluno ouve os arquivos das áudios descrição reproduzidos pelo computador tátil e por último, temos a entrada USB, utilizada pelo desenvolvedor para enviar a programação do *firmware* programado para gerenciar as funcionalidades do computador tátil do MCT.

Figura 87 – Saídas do computador tátil do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Nesta fase da pesquisa, desenvolvemos o arcabouço de *hardware*, Figura 63, em atendimento ao objetivo geral da pesquisa e necessário para o desenvolvimento do sistema interno, o *firmware*, que é executado pelo computador tátil do MCT em que apresentamos em mais detalhes no próximo item.

6.1.4.3 O *firmware* embarcado no Computador Tátil do MCT

Por definição, em sistemas embarcados o software que gerencia os recursos de sistema é chamado de *firmware*.

Assim como na Plataforma Arduíno, no ESP32, também, utilizamos uma IDE para desenvolver em linguagem C++, o *firmware*, que é executado neste microcontrolador.

A IDE do ESP32 é a mesma IDE utilizada pelo Arduíno com algumas configurações extras para a implementação das bibliotecas que são necessárias para a programação do ESP32.

A IDE do ESP32, Figura 88, ilustrou as linhas iniciais de código em C++ que estruturaram a lógica computacional que envolveu as funcionalidades projetadas para o MCT em entregar os requisitos que atenderam as demandas da pesquisa.

Figura 88 – IDE do Arduino – *Firmware* do MCT.

```

61 // | MCT_HW_1.0v_FW_107v | DATA: 07/04/2023 |
62 // |-----|
63 // | BOTAO BOTAO |
64 // | CONFIG USB RESET |
65 // | | | |
66 // | | | |
67 // | | | |
68 // | N -#- CLK IO6 IO0 USB EN VIN -#- +5v -----DB25_01--- +5v |
69 // | N -#- SDO IO7 DB25_19-USB+ IO11 CMD -#- N |
70 // | N -#- SDI IO8 DB25_20-USB- IO10 SD3 -#- N |
71 // | Botao_Audio -#- P15 IO15 IO9 SD2 -#- N |
72 // | MCT LED Status -#- P02 IO2 IO13 P13 -#- TOUCH4 -----DB25_02--- MCT Audio_Tato |
73 // | (GND)-> MCT Botao de Configuracao -#- P00 IO0 # # GND GND -#- GND -----DB25_03--- GND |
74 // | (TOUCH) -#- P04 IO4 | | IO12 P12 -#- TOUCH5 -----DB25_04--- MCT Modo Operacao |
75 // | MCT COMUNICACAO ---DB25_13----- RX2 -#- P16 IO16 LED LED IO14 P14 -#- TOUCH6 -----DB25_05--- MCT Reset |
  
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O *firmware* foi desenvolvido para que erros sejam identificados e solucionados, automaticamente, e em caso de necessidade de intervenção do usuário, o sistema indica em que parte da inicialização deve ser corrigida.

Em casos de erros que impeçam o correto funcionamento do computador tátil do MCT, o sistema emite um áudio explicando o erro identificado e reinicia o sistema na intenção de reparar o problema por meio de uma nova inicialização.

Assim como na construção do invólucro, o *firmware* possui um projeto de *design* que permite aos usuários do sistema realizar o bom uso do sistema com o menor esforço possível, possibilitamos ampliar as capacidades humanas por meio de um processo contínuo de experimentação, *feedback* e refinamento, assim como defendido por Engelbart (1962).

Essa visão colaborativa define o desenvolvimento de sistemas com a prática da prototipagem iterativa, cujo desenvolvimento se dá em ciclos curtos de criação, teste e melhoria com base no retorno dos usuários e na colaboração entre as equipes. Essa construção foi realizada por meio do desenvolvimento do *firmware* e teste exaustivos realizados pelo pesquisador que foi o desenvolvedor do sistema.

Neste caso, o pesquisador realizou diversos pré-testes no *firmware* até que o sistema apresentasse resultados e comportamentos desejados em atendimento da pesquisa.

Basicamente, projetamos o *firmware* de forma a monitorar todos os módulos dos sensores táteis da interface temática do MCT e na identificação do tato do usuário, o reproduzidor de áudio localiza a audiodescrição definida para este sensor tátil e executa a reprodução deste áudio para o usuário.

Ao ser ligado na tensão de 5v, o computador tátil do MCT é inicializado imediatamente, seguindo as seguintes iterações ilustrações na Figura 89.

Figura 89 – Inicialização on-line do MCT.

```
>>>>>>>> Conteudo do arquivo: /MCT/dados_24.txt

0:00:00:01 - Atualização em /MCT/mct.bin...
0:00:00:01 - Arquivo /MCT/mct.bin não encontrado no SDCard...
0:00:00:01 - Versão do sistema: MCT_v233_202412170806
0:00:00:01 - Lendo as configuracoes...
0:00:00:01 - Configuracoes Executadas...
0:00:00:08 - Iniciando o MCT...
0:00:00:12 - Modulos de Sensores Tateis Carregados...
0:00:00:17 - MCT Conectado a Rede Local...
0:00:00:17 - IP Local, 100.100.100.135 em 0.27ms...
0:00:00:22 - MCT Conectado a Internet...
0:00:00:22 - Ping entre 200 e 250ms...
0:00:00:30 - Tempo medio de ping: 237.23ms
0:00:00:38 - Modo de Aprendizado ON line Ativado...
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A cada vez que o MCT é ligado ele cria um arquivo de dados que armazena todos os passos de inicialização do sistema, erros e mais as interações do usuário com o MCT por meio de suas interfaces temáticas, inclusive registra o tempo decorrido em cada um desses passos, Figura 89. Observamos que foi criado o arquivo de dados número 24, o que corresponde que o MCT foi ligado 24 vezes neste momento do registro. Caso o arquivo de dados seja apagado, a contagem será reiniciada a partir do número 1.

Para cada um desses passos verificados pelo computador tátil do MCT, o usuário recebe uma audiodescrição informando que esse passo foi concluído com sucesso ou que ocorreu algum erro identificado pelo sistema.

Observamos que no segundo 0:00:00:01, Figura 89, o sistema do computador tátil do MCT verifica se existe alguma atualização de *firmware* armazenada na memória do *SDCard*, sendo uma forma de atualização do sistema e apresenta qual a versão de *firmware* atual.

O sistema ao acessar o arquivo de configuração, localizado no *SDCard*, localiza as audiodescrições disponibilizadas pelo docente, no repositório on-line da eduCAPES, sobre o conteúdo acadêmico para cada interface temática, que seria reconhecida pelo sistema, nesta versão, podemos diferenciar até 16 interfaces temáticas, Figura 90. Um áudio é reproduzido pelo MCT, informando que as configurações foram carregadas.

Figura 90 – Arquivo de configuração do MCT.

```
0:00:00:01 - ##### Arquivo de Configuracoes #####

>>>>>>> Lendo o arquivo de Configuracoes:

tematica_online_1:918478
tematica_online_2:918492
tematica_online_3:
tematica_online_4:
tematica_online_5:
tematica_online_6:
tematica_online_7:
tematica_online_8:
tematica_online_9:
tematica_online_10:
tematica_online_11:
tematica_online_12:
tematica_online_13:
tematica_online_14:
tematica_online_15:
tematica_online_16:

0:00:00:01 - ##### Configuracoes Executadas #####
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Em 0:00:00:08 segundos, Figura 89, o MCT Inicializa o sistema e tenta conectar à rede Wi-Fi, previamente, configurada pelo usuário.

No 0:00:00:12 segundos, Figura 89, os módulos de sensores táteis são reconhecidos pelo sistema e para cada módulo tátil, gerenciamos até 12 sensores táteis instalados nas interfaces temáticas projetadas para o MCT. Em

caso de pelo menos um módulo tátil não for identificado, o sistema reproduz um áudio informando o erro e solicita que o computador tátil seja conectado a uma interface temática e reinicia o sistema em busca de reconhecer a interface temática.

No segundo 0:00:00:17, Figura 89, o MCT informa se conseguiu conectar à rede Wi-Fi configurada pelo usuário, informa o endereço IP local e tempo de ping de conexão à rede local.

Em 0:00:00:22 segundos, Figura 89, o MCT verifica se possui acesso ao portal da eduCAPES via Internet, informa o tempo médio de ping e habilita o modo on-line do sistema.

O MCT finaliza a inicialização do *firmware* em 38 segundos no modo on-line, que acessa o conteúdo acadêmico disponibilizado pelo docente no portal da eduCAPES, assim, o sistema não acessa o conteúdo armazenado, localmente, no computador tátil do MCT.

Caso o usuário não tenha configurado uma rede local no MCT, via terminal serial, arquivo ou servidor web, o sistema termina a inicialização do *firmware* em aproximadamente 29 segundos, em modo off-line, conforme ilustrado na Figura 91.

Figura 91 – Inicialização off-line do MCT.

```
>>>>>>> Conteudo do arquivo: /MCT/dados_26.txt

0:00:00:01 - Atualização em /MCT/mct.bin...
0:00:00:01 - Arquivo /MCT/mct.bin não encontrado no SDCard...
0:00:00:01 - Versão do sistema: MCT_v233_202412170806
0:00:00:01 - Lendo as configuracoes...
0:00:00:01 - Configuracoes Executadas...
0:00:00:07 - Lendo ConfigWifi...
0:00:00:07 - Iniciando o MCT...
0:00:00:12 - Modulos de Sensores Tateis Carregados...
0:00:00:17 - MCT desconectado da rede Wifi...
0:00:00:22 - MCT sem resultado de ping...
0:00:00:22 - MCT sem Internet...
0:00:00:29 - Modo de Aprendizado OFF line Ativado...
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Após o MCT determinar, automaticamente, se o sistema será inicializado em modo on-line ou off-line e definir o modo de operação, o computador tátil

aguarda que o usuário acione um dos sensores táteis. Quando isso ocorrer, o sistema reproduz as audiodescrições correspondentes aos sensores táteis da interface temática conectada ao MCT.

No modo de aprendizado on-line, as audiodescrições são reproduzidas via portal da eduCAPES, Figura 92.

Figura 92 – Reprodução de audiodescrição on-line.

```
0:00:03:12 - ##### Toque liberado no sensor 8 do módulo capacitivo A #####
0:00:03:12 - ##### Audio online 8 acionado #####
0:00:03:12 - https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3
info buffers freed, free Heap: 189848 bytes
info Connect to new host: "https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3"
info Connect to "educapes.capes.gov.br" on port 443, extension "/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3"
info SSL has been established in 2125 ms, free Heap: 142176 bytes
info HTTP/1.1 200 OK
info date: Thu, 27 Feb 2025 06:44:16 GMT
info server: Apache/2.2.15 (CentOS)
info last-modified: Mon, 23 Dec 2024 05:16:38 GMT
info content-length: 324096
info content-type: audio/mpeg, format is mp3
info MP3Decoder has been initialized, free Heap: 115908 bytes
info Switch to DATA, metaint is 0
lasthost https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3
station
icyurl
info stream ready
info buffer filled in 236 ms
info file has no mp3 tag, skip metadata
info Audio-Length: 324096
info syncword found at pos 0
info Channels: 1
info SampleRate: 24000
info BitsPerSample: 16
info BitRate: 64000
info End of webstream: "https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3"
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

No modo de aprendizado off-line, as audiodescrições são reproduzidas via armazenamento local na memória do *SDCard*, Figura 93.

Figura 93 – Reprodução de audiodescrição off-line.

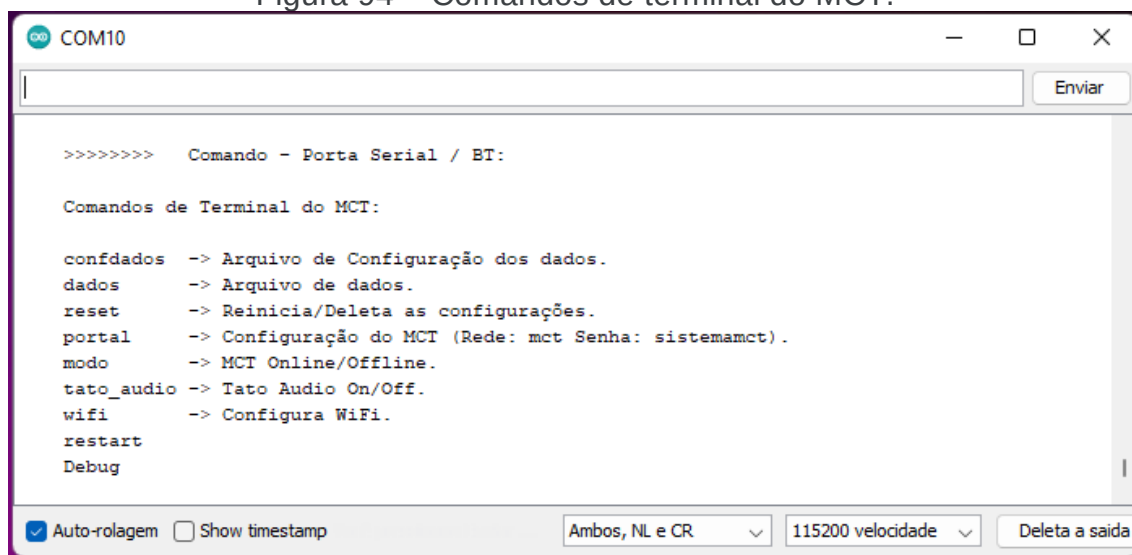
```
0:00:02:10 - ##### Audio offline 8 acionado #####
0:00:02:10 - /MCT/TEMATICAS/INTERFACE_1/audio_1_8.mp3
info buffers freed, free Heap: 188820 bytes
info Reading file: "/MCT/TEMATICAS/INTERFACE_1/audio_1_8.mp3"
info MP3Decoder has been initialized, free Heap: 165168 bytes
info Content-Length: 324096
info file has no mp3 tag, skip metadata
info Audio-Length: 324096
info stream ready
info syncword found at pos 0
info Channels: 1
info SampleRate: 24000
info BitsPerSample: 16
info BitRate: 64000
info Closing audio file
info End of file "/MCT/TEMATICAS/INTERFACE_1/audio_1_8.mp3"
eof_mp3 /MCT/TEMATICAS/INTERFACE_1/audio_1_8.mp3
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O sistema do MCT possui três formas de configuração, via botão de configuração, via terminal ou via acesso ao sistema web, interno ao MCT.

Conectamos ao MCT via porta USB, Figura 87, ao abrir o terminal via IDE do Arduíno, Figura 88, o terminal serial necessita ser configurado em 115200 bps como velocidade, habilitando a autorolagem, conforme a Figura 94.

Figura 94 – Comandos de terminal do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Ao enviarmos os caracteres pela serial da IDE do Arduíno, o sistema retorna com o menu de comandos de terminal do MCT, Figura 94.

Com o comando “confdados”, o sistema apresenta o que está configurado no arquivo de configuração do sistema, Figura 90.

O “reset” é o comando que reinicia e apaga todas as configurações do sistema e o comando “restart”, somente reinicia o sistema.

O comando “modo” alterna entre os modos de aprendizado “on-line” ou “off-line”.

O “tato_audio” habilita e desabilita o botão físico de liberação de tato.

O comando “Wi-Fi”, solicita ao usuário o nome da rede Wi-Fi e a senha da rede, logo em seguida esses parâmetros são armazenados no arquivo de configuração do Wi-Fi e utilizado pelo sistema para acessar a rede local do Wi-Fi do usuário.

O comando referente aos arquivos de dados, apresentam os dados referentes à inicialização do sistema e todo o histórico produzido pelas

interações realizadas pelo usuário ao utilizar as interfaces temáticas, acionando os sensores táteis espalhados pela interface do sistema, Figura 95.

Figura 95 – Comando de dados na interface serial do MCT.

```
>>>>>>> Comando - Porta Serial / BT: dados
>>>>>>> Conteudo do arquivo: /MCT/dados_36.txt

0:00:00:01 - Atualização em /MCT/mct.bin...
0:00:00:01 - Arquivo /MCT/mct.bin não encontrado no SDCard...
0:00:00:01 - Versão do sistema: MCT_v234_202502270323
0:00:00:01 - Lendo as configuracoes...
0:00:00:01 - Configuracoes Executadas...
0:00:00:08 - Iniciando o MCT...
0:00:00:12 - Módulos de Sensores Tateis Carregados...
0:00:00:17 - MCT Conectado a Rede Local...
0:00:00:17 - IP Local, 100.100.100.135 em 0.25ms...
0:00:00:23 - MCT Conectado a Internet...
0:00:00:23 - Ping entre 150 e 200ms...
0:00:00:30 - Tempo medio de ping: 159.54ms
0:00:00:38 - Modo de Aprendizizado ON line Ativado...

0:00:03:12 - Toque detectado no sensor 8 do módulo capacitivo A...

0:00:03:12 - Interface Offline n°: 1 Autorizada!
0:00:03:12 - Interface Online n°: 918478 Autorizada!
0:00:03:12 - Toque liberado no sensor 8 do módulo capacitivo A...
0:00:03:12 - https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3
```

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O comando “debug” habilita a verificação de sensibilidade tátil de todos os sensores do sistema que foram identificados pelo computador tátil, Figura 96.

Figura 96 – Debug da sensibilidade tátil do computador tátil.

	Vol+	Vol-	Audio	Mode	Restart									
	31	12	31	118	121									0x0
Filtro A:		712	717	716	718	714	720	713	720	721	719	706	719	0x0
Base A:		712	712	716	716	712	720	712	720	720	716	704	716	
Filtro B:		719	719	689	713	708	711	713	716	713	719	714	713	0x0
Base B:		716	716	688	712	708	708	708	716	712	716	712	712	

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

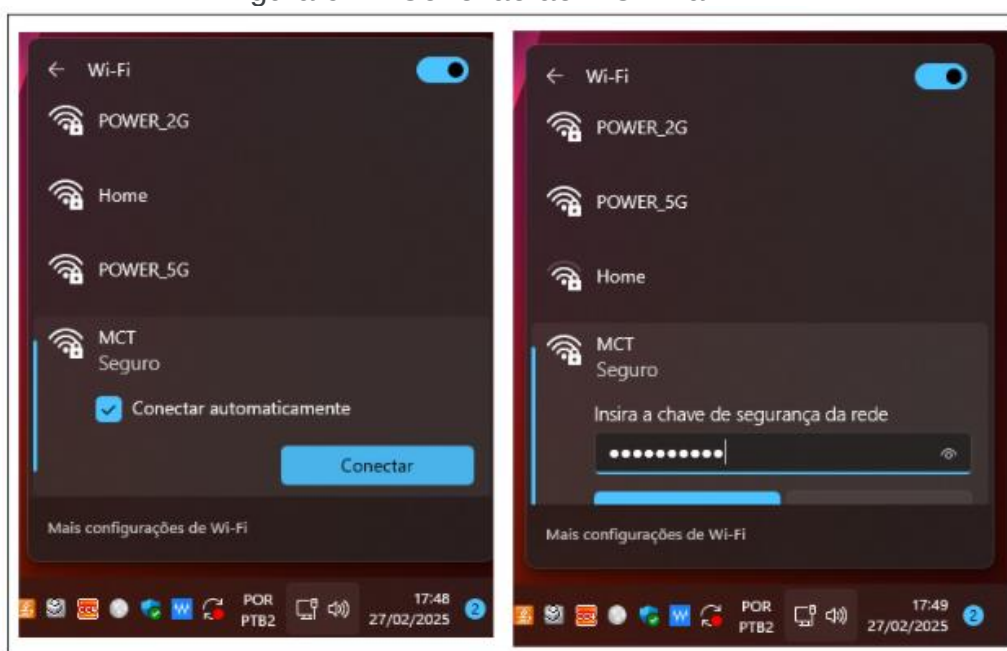
Com essa função de “debug”, temos os níveis de sensibilidade ao toque nos sensores táteis de volume mais, de volume menos, de áudio, de mode, de restart e dos 24 sensores táteis entregues pelos dois módulos táteis.

Quando um toque é reconhecido pelo sistema esse valor de referência é diminuído consideravelmente, e o computador tátil reconhece que o referido sensor foi acionado ao simples toque do usuário. Com esses dados de referência

é possível realizarmos ajustes para melhorar a sensibilidade de acionamento tátil, calibrando os sensores de forma que, evitemos os acionamentos “fantasmas”.

O comando “portal”, Figura 94, ou utilizando o botão físico de configuração, Figura 86 – número 2, o MCT inicializa um servidor Web, que foi programado e interno ao computador tátil, que passa a transmitir, via Wi-Fi, um serviço de ponto de acesso, que permite ser conectado via computador pessoal ou um simples celular, Figura 97.

Figura 97 – Conexão ao MCT via Wi-Fi.

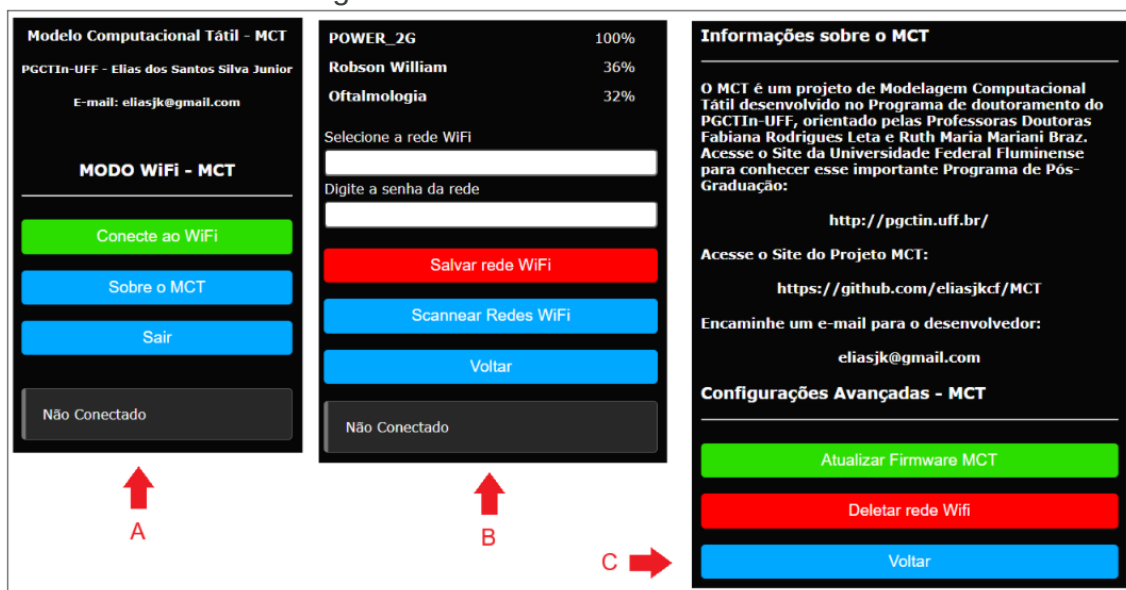


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Assim que o usuário aciona o modo de configuração, o sistema reproduz diversas informações, via áudio, para guiar o usuário, de forma a realizar a conexão via Wi-Fi, primeiramente, o usuário ao realizar uma varredura das redes WiFi disponíveis, por meio de um computador ou pelo celular, irá localizar a rede de nome: “MCT”, seleciona em “Conectar” e digite a senha de conexão: “sistema mct” e o dispositivo se conecta ao computador tátil do MCT, Figura 97.

Ao conectar-se, o usuário deve abrir o navegador web, em seu dispositivo e na barra de endereço digitar: “sistemamact.com” ou o endereço IP do servidor web do MCT: “10.10.10.10” que o navegador irá apresentar a página inicial de configuração do MCT, Figura 98 – A.

Figura 98 – Interfaces Web do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Ao selecionar o botão “Conecte ao WiFi”, Figura 98 – A, o sistema vai abrir a página programada para o usuário selecionar as redes sem fio que estiverem disponíveis, digitar a senha dessa rede e conectar o MCT a essa rede local, Figura 98 – B.

Em caso do usuário selecionar o botão “Sobre o MCT”, Figura 98 – A, o sistema vai abrir a página programada para exibir as informações sobre o projeto do MCT, conforme ilustrado na Figura 98 – C.

O *firmware* programado para gerenciar os recursos do computador tátil do MCT foi desenhado e projetado para, dentro do possível, prever os erros mais comuns que o sistema possa apresentar e se autorrecuperar desses erros.

Foi configurado para o envio de *feedbacks* em forma auditiva e visual (por meio dos leds) para os usuários, a fim de, permitir que o próprio usuário acompanhe o bom funcionamento do sistema.

Após a correta inicialização, o sistema cumpre o seu papel em monitorar, constantemente, os sensores táteis e ao ser acionado a reprodução da audiodescrição correspondente ao sensor tátil e acionada no menor tempo possível, sendo de forma on-line, prioritariamente, ou de forma off-line.

Assim, atendemos ao primeiro objetivo específico da pesquisa, estabelecendo o conceito de modelagem computacional tátil, ao gerarmos a fusão das seis matrizes conceituais.

Cumprimos com a última etapa de Wallas (1926) e a última fase de Koestler (1964), em aplicação aos conceitos consolidados, desenvolvemos uma versão computacional tátil (o computador tátil) em prova de atestar que a teoria é viável ao ser utilizada na prática.

Nos próximos itens, apresentaremos os resultados que a pesquisa obteve em campo executado no Colégio Pedro II – Unidade de Niterói.

6.2 As provas de conceito do MCT

Apresentamos os resultados, em referência ao segundo objetivo específico da pesquisa, respeitando, respectivamente, a mesma hierarquia de itens relacionados na seção de material e métodos, item 5.2.

A modelagem conceitual computacional tátil foi criada e desenvolvida por meio das seis matrizes conceituais e, assim, finalizamos os resultados com a implementação prática da tecnologia por meio do desenvolvimento do computador tátil do MCT.

Com o computador tátil operacional, avançamos em atendimento ao segundo objetivo da pesquisa, que consistiu em prototipar as provas de conceitos, que foram as interfaces temáticas desenvolvidas em campo no Colégio Pedro II, Unidade Niterói–RJ.

Neste item, trataremos os resultados obtidos na **FASE_01** e **FASE_02** da pesquisa de campo.

No próximo tópico, trataremos a **FASE_01** da pesquisa de campo que foi a definição das interfaces temáticas experimentais para o MCT.

6.2.1 As interfaces temáticas experimentais do MCT

Nesta **FASE_01** da pesquisa de campo, contamos com a participação e colaboração professor participante, da unidade de Niterói do Colégio Pedro II, que definiu as temáticas das interfaces controladas pelo MCT.

Em atendimento aos preceitos éticos, a pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal Fluminense (CEP-UFF) – CAAE n.º 66942923.1.0000.8160 (submetida em 13/01/2023, aprovada em 22/05/2023 pelo parecer 6.071.446) e também pelos Centros Coparticipantes, o

Centro Universitário de Valença/Fundação Educacional Dom André Arcoverde, o instituto Benjamin Constant (IBC) (CAAE n.º 66942923.1.3003.5246, aprovado em 03/07/2023 pelo parecer 6.158.654) e o Colégio Pedro II (CAAE n.º 66942923.1.3001.9047, aprovado em 03/07/2023 pelo parecer 6.158.265).

Após a aprovação da pesquisa pelo CEP-UFF, estabelecemos o primeiro contato presencial com a Unidade de Niterói do Colégio Pedro II e conhecemos o professor participante, que leciona a disciplina de Biologia nessa unidade.

Em atendimento a metodologia da pesquisa, item 5.2.1, o pesquisador iniciou a fase da “comunicação” de Pressman (2011) por meio de uma ligação telefônica para uma conversa inicial sobre como seria a participação do docente e os levantamentos de requisitos necessários a esta primeira fase da pesquisa.

O professor participante, aceitou receber os primeiros questionários sobre a pesquisa via e-mail para contribuir com os requisitos necessários para o bom andamento da pesquisa de campo.

No dia **23/02/2024**, por meio de um e-mail, encaminhamos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para o professor participante formalizar a sua participação como voluntário da pesquisa sobre o MCT.

No dia **07/03/2024**, recebemos o retorno do professor participante com TCLE, devidamente, assinado, registrando o seu aceite e iniciando a sua participação formalizada como professor participante da pesquisa de campo.

Neste mesmo dia, encaminhamos o “**Roteiro de entrevista livre de definição das interfaces**” e contido no item 5.2.1, a ser respondido via e-mail pelo professor participante.

No dia **03/04/2024**, o docente respondeu à entrevista livre para a definição das interfaces, conforme o roteiro abaixo:

O docente respondeu sobre o TCLE, se haveria restado alguma dúvida a respeito de sua participação na pesquisa, e o docente, respondeu: “**Declaro que entendi todos os termos das pesquisas e não tenho nenhuma dúvida**”.

Perguntamos sobre a condição de ser voluntário e se o docente concordaria com essa condição, e o docente respondeu: “**Estou plenamente ciente deste dispositivo e de acordo**”.

Sobre a pergunta na qual o docente opina sobre quais seriam os conteúdos, lecionado por ele, de difícil entendimento para os alunos com deficiência visual, o docente respondeu:

Um dos temas mais difíceis na Biologia refere-se ao metabolismo energético em eucariontes por requerer do estudante, uma correlação entre os compartimentos da mitocôndria ou cloroplasto (no caso da fotossíntese) com a etapa do processo de conversão, extração ou armazenagem de energia. Neste sentido, além do domínio da estrutura da mitocôndria ou cloroplasto, os estudantes devem apreender as etapas do processamento (catabolismo) das moléculas orgânicas ou do processo de conversão da energia luminosa em carboidratos no caso da fotossíntese, que são reações bioquímicas, exigindo integração com conteúdos de química, além da física, por se tratar de estudo de interconvecção de formas de energia, exigindo conhecimento básicos de termodinâmica. Trata-se, portanto, de um assunto interdisciplinar que é extremamente abstrato para o estudante cego (Professor Participante).

O professor em seu relato apresentou as Células Eucariontes como temática acadêmica, na Biologia, como de difícil compreensão para os alunos cegos, que seria o pior caso das especificidades na deficiência visual.

O docente ficou de acordo que com a temática acadêmica apresentada, desenvolvemos duas interfaces temáticas para o MCT, uma representação da célula eucarionte vegetal e outra, a representação da célula eucarionte animal.

Com o desenvolvimento dessas duas temáticas, atendemos a **FASE_01** da pesquisa de campo em definir as interfaces temáticas para o MCT.

Finalizamos a fase da “**comunicação**” da prototipagem evolutiva de Pressman (2011) em atendimento parcial ao segundo objetivo específico da pesquisa.

No próximo item, desenvolvemos um projeto rápido sobre as temáticas definidas, resultando na construção das primeiras versões das interfaces temáticas modeladas em 3D para que o docente possa ter uma visão mais concreta de como foram prototipadas as interfaces temáticas do MCT.

6.2.2 As provas conceituais do MCT

Após a identificação das interfaces para o MCT, que foram os resultados obtidos na **FASE_01** da pesquisa de campo, avançamos com a **FASE_02** da pesquisa de campo, que foi a prototipação das provas conceituais e em atendimento definitivo ao segundo objetivo específico da pesquisa.

O processo de prototipagem evolutiva, aplicado ao modelo em 3D, permitiu ao pesquisador economizar muito tempo e diminuiu em muito o custo de desenvolvimento das interfaces temáticas do MCT.

Dentre diversos repositórios que armazenam arquivos de modelos em 3D investigados na Internet, selecionamos dois modelos que foram os projetos básicos, utilizados na pesquisa, Figura 99 e Figura 100.

Figura 99 – O projeto básico – Célula Vegetal.



A segunda interface temática experimental foi a célula eucarionte animal, o modelo em 3D foi utilizado como projeto básico, modelado e disponibilizado por BioGeo (2020), também, no site: <https://www.thingiverse.com>, Figura 100.

Figura 100 – O projeto básico – Célula Animal.



Fonte: Adaptado de BioGeo (2020).

Em atendimento a metodologia prevista para a pesquisa, desenvolvemos a primeira versão do protótipo, por meio de um “**projeto rápido**”, segundo Pressman (2011), a ser validado, primeiramente, pelo docente e, posteriormente, pelos discentes com deficiência visual.

Nos dois modelos básicos das células eucariontes, Figura 99 e Figura 100, aplicamos os requisitos entregues pela modelagem conceitual das seis matrizes que integraram a modelagem computacional tátil, o MCT.

A segunda fase de Pressman (2011), Figura 43 do item 5.2.2, temos o desenvolvimento do “**Projeto Rápido**” que foi baseado na construção das interfaces experimentais a partir dos desses dois projetos básicos.

Os dois modelos em 3D de Jordá (2020) para a célula vegetal e BioGeo (2020) para a célula animal foram modificados para atender as características e as funcionalidades que necessitamos em um mapa tátil, segundo os requisitos entregues pelas seis matrizes conceituais da modelagem do MCT.

O projeto rápido foi desenvolvido a partir da análise dos dois modelos em 3D que foram a base para definir como foi construída a “**Modelagem de Projeto Rápido**”, que é a terceira fase definida por Pressman (2011) em sua teoria da prototipagem evolutiva.

A pesquisa demandou a remodelagem dos dois modelos básicos em 3D das células eucariontes, sem que eles perdessem as suas características técnicas e biológicas em representarem as estruturas celulares, mas

conseguissem, também, atender os requisitos das seis matrizes conceituais modeladas para o MCT na construção de dois mapas táteis eficientes.

Inicialmente, para tal, aplicamos as estratégias entregues pela matriz do *design* dos objetos, que foram resumidos no Quadro 8 do item 6.1.1.4, que reuniu as melhores estratégias para a construção de mapas táteis.

Um segundo ponto importante, foi o de como distribuímos os sensores táteis pelos símbolos táteis na interface a ser modelada em 3D, em atendimento aos requisitos da matriz de interação com os objetos, estruturando um estudo dirigido, desde o seu início até o fim, e como esse conteúdo, foi dividido em pequenas partes, até que o aluno, se apropriasse do conteúdo exposto por meio das interfaces projetadas para o MCT.

O terceiro desafio, foi o de empregar os requisitos computacionais nas interfaces experimentais, assim como foram empregados no computador tátil, que atendessem as técnicas descritas na matriz computacional e os seus requisitos, que foram estruturados, no Quadro 9 do item 6.1.1.6.

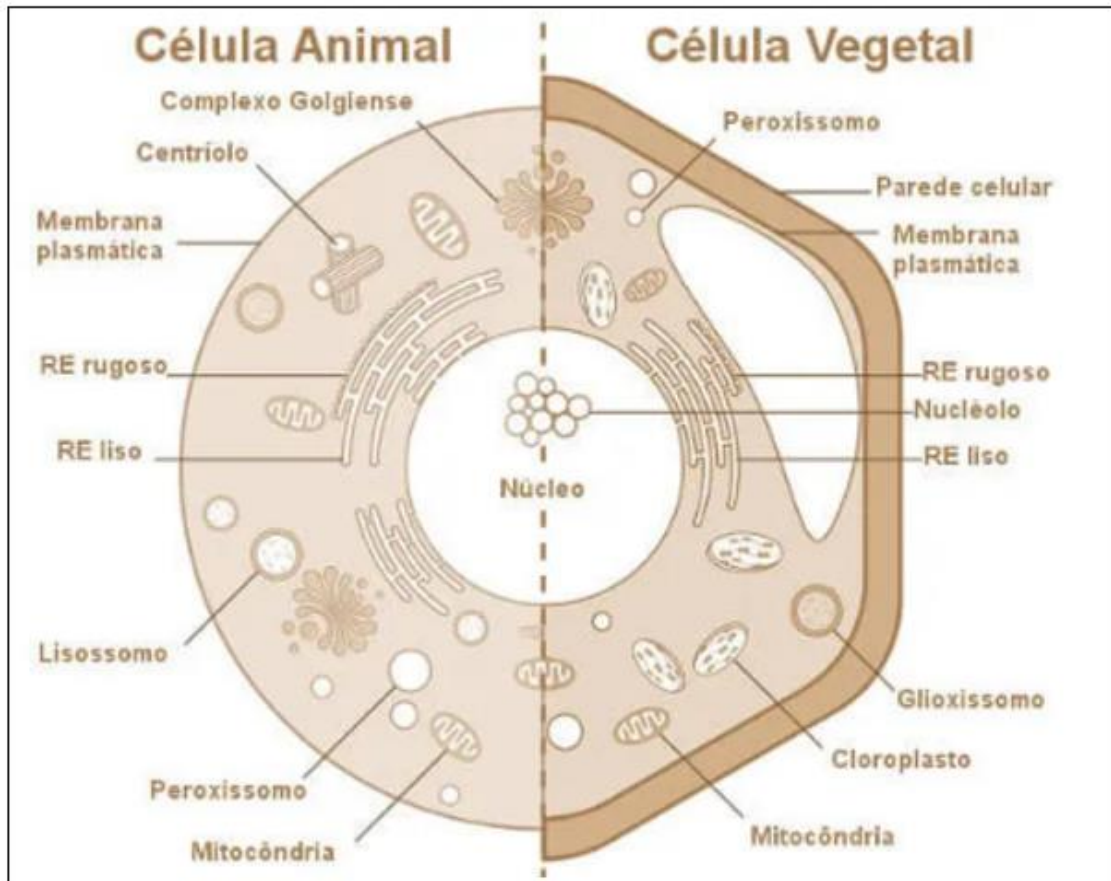
Após a definição dos projetos básicos, investigamos junto à Internet os conteúdos acadêmicos que atenderiam a pesquisa, ao próprio projeto básico e às interfaces temáticas experimentais utilizadas pelo MCT.

Os conteúdos acadêmicos pesquisados na Internet, sobre as células eucariontes foram muito truncados em relação à forma das organelas e as organelas que se encontram presentes ou não presentes nessas duas células.

Percebemos que muitos autores divergiam entre si, pois alguns autores defendem que os “Centríolos” estariam presentes nas duas células e outros, consideram que os “Centríolos” estão presentes somente na célula animal.

Em contato com o professor participante, por meio de aplicativo de mensagens, apresentamos esses e outros resultados, conflitantes e truncados, até que todas essas dúvidas fossem sanadas. No caso dos “Centríolos”, o docente nos esclareceu que somente um pequeno grupo de vegetais possuem essa organela em sua estrutura e que seria importante, nesse momento, tratarmos os casos mais comuns e não as exceções das células eucariontes, assim, adotamos os conceitos abordados por Santos (2024), Figura 101.

Figura 101 – Diferenças entre as células animais e vegetais.



Fonte: Santos (2024).

Santos (2024), afirmou que as células animais e vegetais são eucariontes, por possuírem um núcleo bem definido e as diferenças básicas entre elas são a presença ou a ausência de algumas das organelas que foram relacionadas pela autora na Figura 102.

Em abril de 2024, apresentamos ao professor participante o projeto básico das células eucarióticas (Figura 99 e Figura 100) e o mapeamento das organelas presentes e ausentes nessas estruturas. O docente validou tanto os modelos em 3D da célula vegetal adaptada de Jordá (2020) e o da célula animal adaptada de BioGeo (2020) e também a relação de organelas proposta por Santos (2024).

A partir do projeto básico analisado e validado pelo docente, iniciamos o processo de “**Modelagem do projeto rápido**” e a “**Construção do Protótipo**”, terceira e quarta fases da prototipagem evolutiva de Pressman (2011).

Figura 102 – Relação das organelas vegetais e animais.

ESTRUTURA	CÉLULA ANIMAL	CÉLULA VEGETAL
Parede celular	Ausente	Presente
Membrana plasmática	Presente	Presente
Núcleo	Presente	Presente
Ribossomo	Presente	Presente
Retículo endoplasmático agranular ou liso	Presente	Presente
Retículo endoplasmático granular ou rugoso	Presente	Presente
Complexo Golgiense	Presente	Presente
Peroxisomo	Presente	Presente
Mitocôndria	Presente	Presente
Lisossomo	Presente	Ausente
Centríolos	Presente	Presente em apenas em alguns grupos, tais como briófitas e pteridófitas.
Plastos	Ausente	Presente
Vacúolo de suco celular	Ausente	Presente
Glioxissomos	Ausente	Presente

Fonte: Santos (2024).

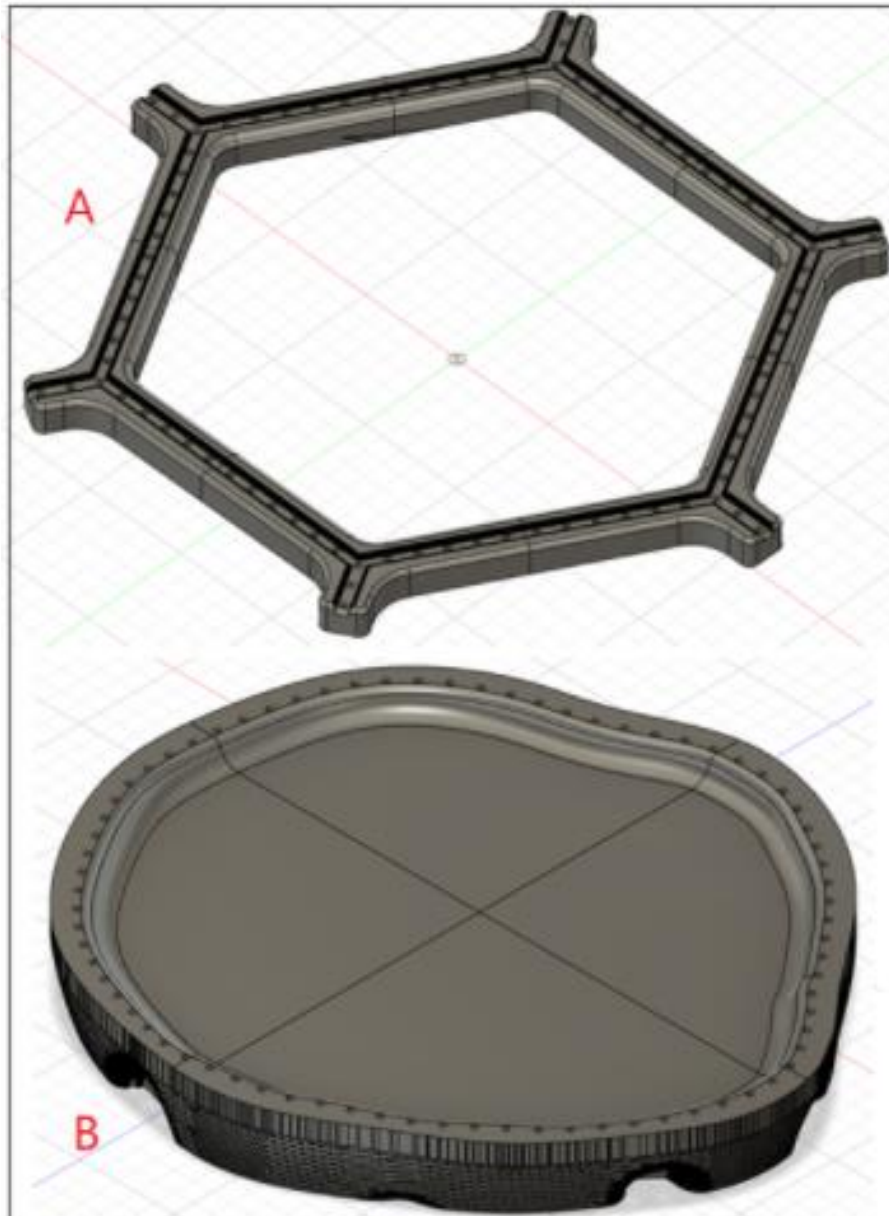
Iniciamos pela modelagem em 3D das bases, utilizando o Fusion 360, Figura 103, assim como modelamos em 3D as peças que integram o invólucro do computador tátil, Figura 65, que foram as estruturas celulares que receberam a montagem/colagem das suas respectivas organelas.

Na Figura 103 (A), modelamos em 3D, uma estrutura celular composta por um polígono de seis lados, divididos por uma cavidade e diversos furos que contornam o perímetro do hexágono.

Essa cavidade divide ambos os símbolos táteis, o mais externo, representa a parede celular da célula vegetal e o símbolo tátil mais interno é a membrana plasmática, temos ao fundo, na base do hexágono a representação

do citoplasma, sendo a estrutura celular que envolve as organelas da célula vegetal.

Figura 103 – Base das células vegetal e animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

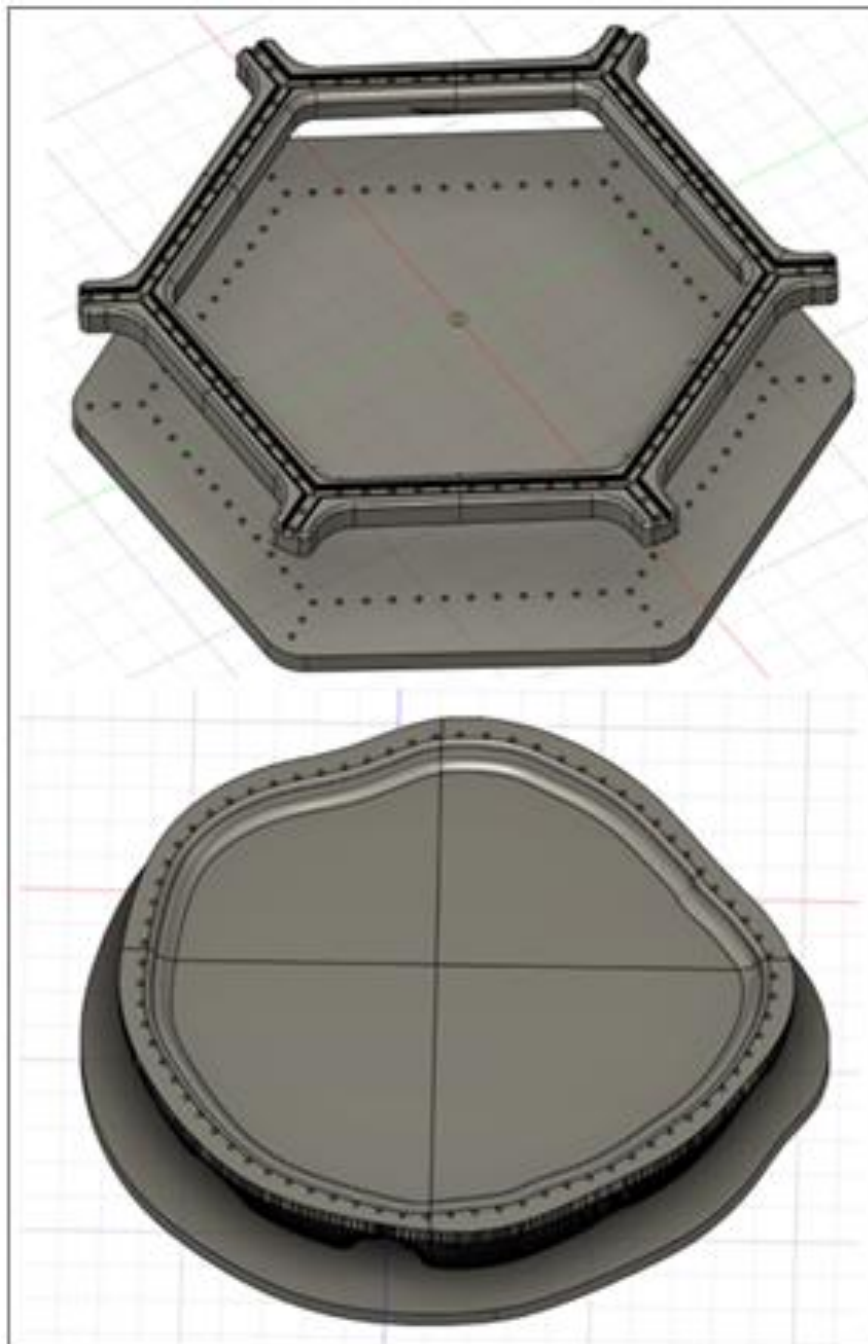
Na Figura 103 (B), apresentamos a peça modelada em 3D da célula animal, sendo uma circunferência oval irregular, a parte mais elevada em seu perímetro representa o símbolo tátil da membrana plasmática e a região plana mais afundada a estrutura celular do citoplasma.

Os orifícios modelados ao redor do perímetro das duas peças, possuem a distância aproximada de 1 cm, sendo utilizados como medição de escala e,

também, para receberem os pinos metálicos ligados aos módulos dos sensores táteis do computador tátil do MCT, que foram distribuídos pelos símbolos táteis espalhados pelos mapas táteis.

Na Figura 104, modelamos as duas bases celulares, que cortamos em MDF de 3 mm, para efetuarmos a montagem e colagem das duas estruturas celulares e, posteriormente, para receber a modelagem das organelas para compor as duas interfaces experimentais das duas células eucariontes.

Figura 104 – Bases celulares em MDF.



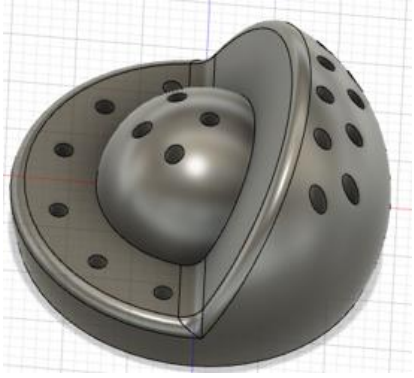
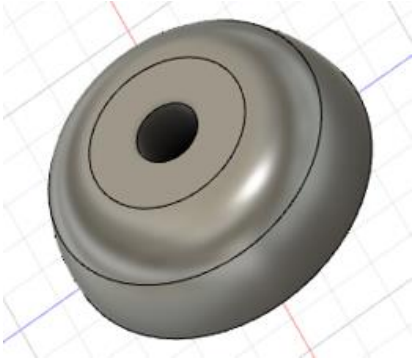
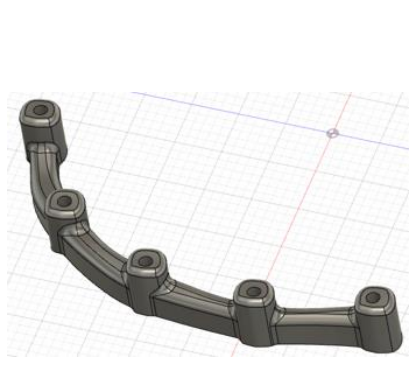
Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

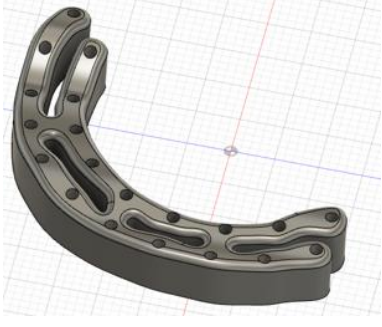
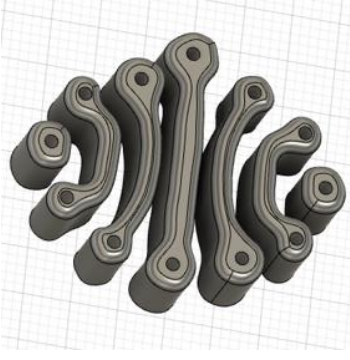
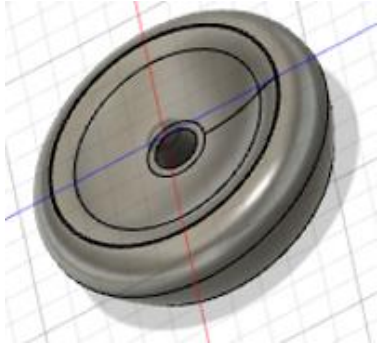
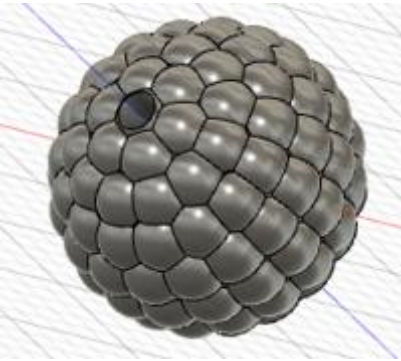
No caso da célula eucarionte vegetal, a base de MDF, Figura 104, representou a estrutura celular do citoplasma no interior do hexágono e, também, recebeu a colagem das seis partes que integram o polígono da célula.

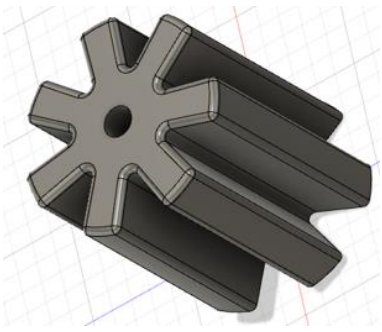
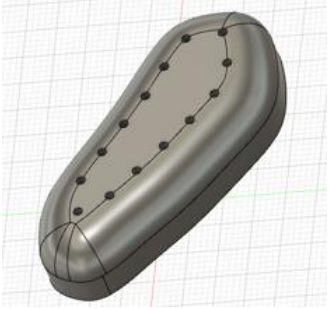
Na célula eucarionte animal, o MDF, Figura 104, funcionou como base para a colagem das quatro partes em que foram divididas a membrana plasmática da célula.

No Quadro 11, apresentamos o *design* de como foi realizada a modelagem em 3D empregadas em cada uma das doze organelas que integram as células eucariontes animais e vegetais.

Quadro 11 – Organelas modeladas em 3D.

Organelas	Modelagem em 3D
Núcleo e Nucléolo	 A 3D model of a nucleus and nucleolus. The nucleus is a large, dark, spherical structure with a textured surface. Inside it is a smaller, smoother, spherical nucleolus. The model is shown on a grid background.
Ribossomo	 A 3D model of a ribosome. It is a dark, spherical structure with a textured surface. The model is shown on a grid background.
Retículo Endoplasmático liso	 A 3D model of smooth endoplasmic reticulum. It is a dark, tubular structure with a textured surface. The model is shown on a grid background.

Retículo Endoplasmático Rugoso	
Complexo de Golgi	
Peroxisomo	
Mitocôndria	
Lisossomo	

Centríolos	
Cloroplastos	
Vacúolo Central	
Glioxissomo	

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

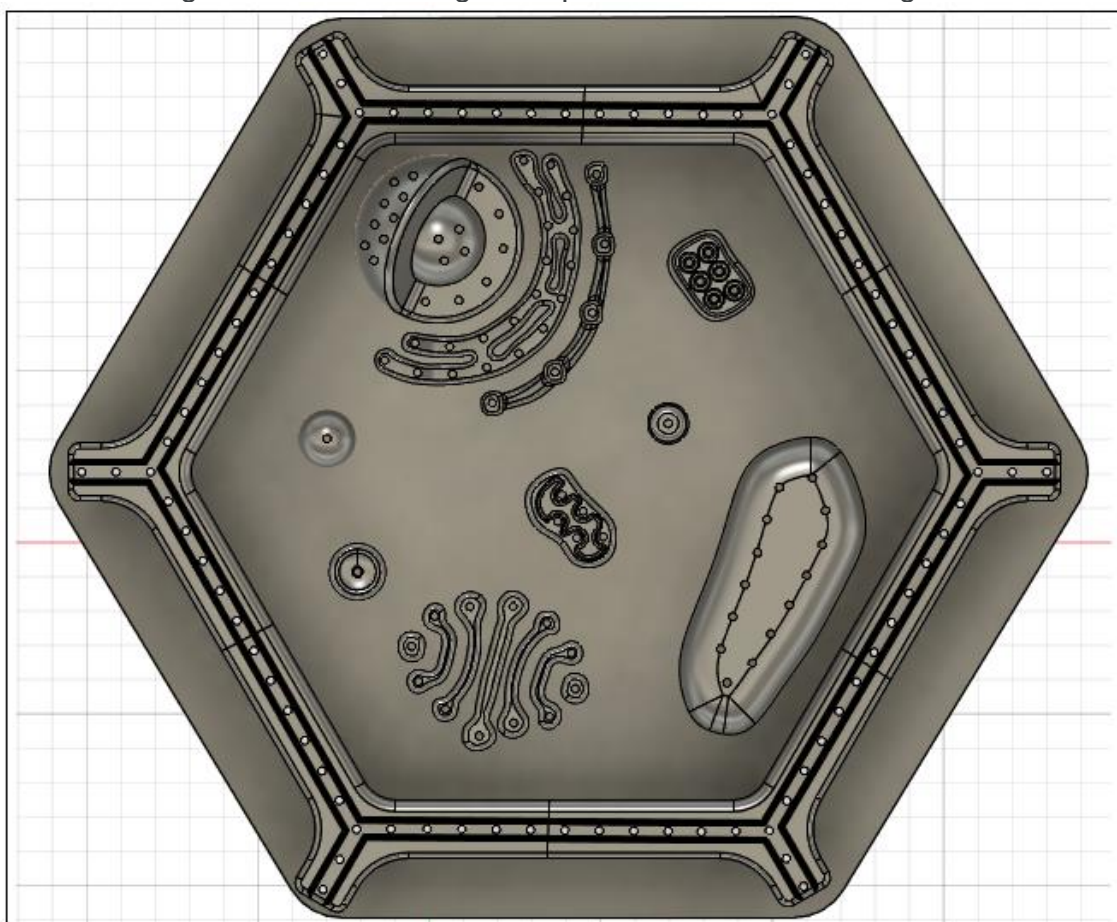
O Fusion 360 foi o *software* utilizado para a construção das organelas modeladas em 3D, esboçamos as peças em 2D e, posteriormente, modelamos a estrutura de cada organela em 3D, assim como, foi desenvolvido o invólucro do computador tátil.

Em cada uma das organelas apresentadas no Quadro 11, modelamos alguns orifícios projetados para receberem os pinos metálicos que funcionaram como os sensores táteis, interligados aos módulos táteis do computador tátil do MCT para detectarem o tato dos usuários.

Desenvolvemos a modelagem experimental, de forma a organizar as organelas em relação às estruturas celulares e a base projetada para suportar a fixação de cada uma das peças modeladas em 3D no Fusion 360.

A primeira versão construída por meio da modelagem em 3D da interface experimental da célula eucarionte vegetal, foi ilustrada na Figura 105, apresentamos as estruturas celulares da parede celular, membrana plasmática e citoplasma, além das organelas organizadas e integrantes da célula.

Figura 105 – Modelagem experimental da célula vegetal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

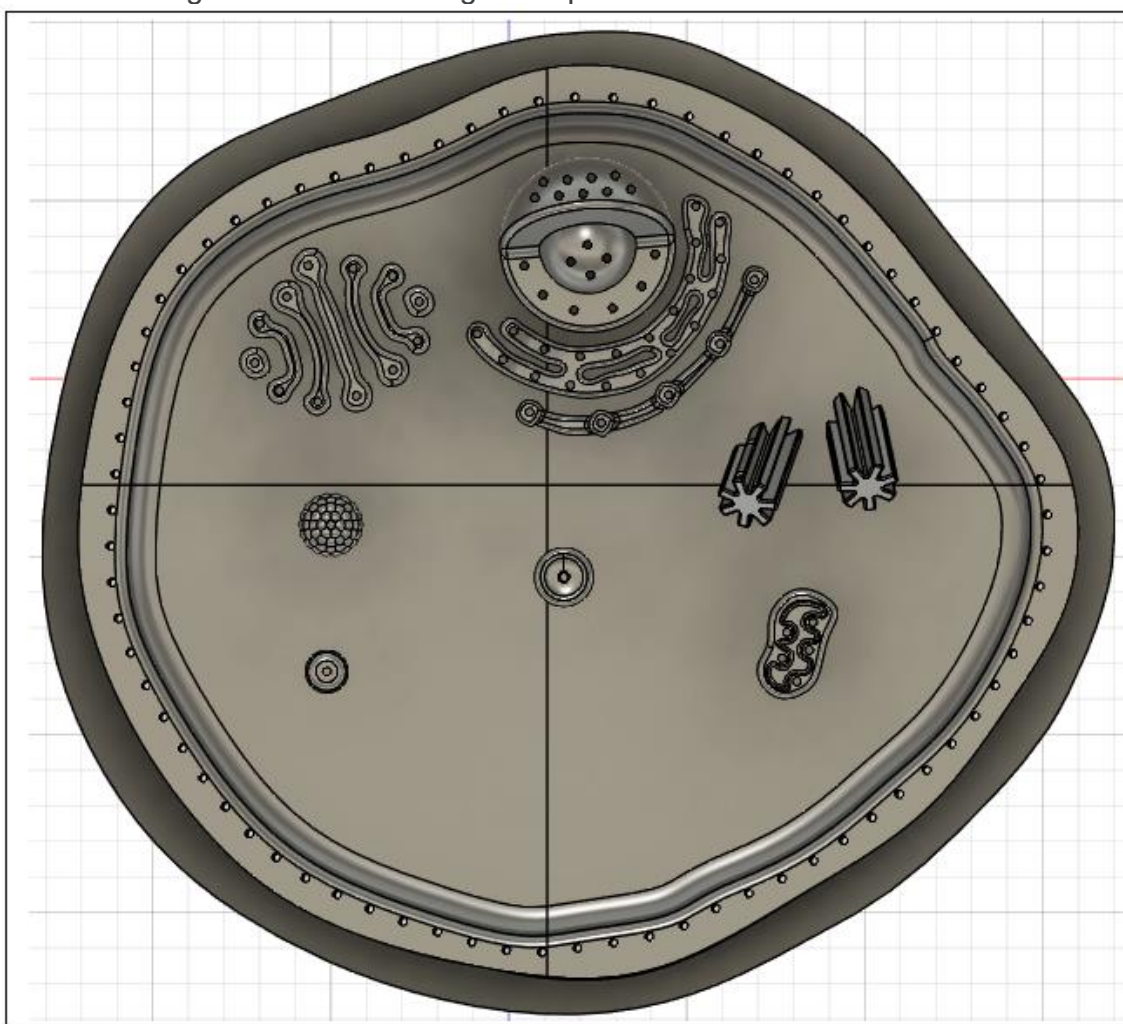
Na Figura 106, apresentamos a primeira versão da interface experimental modelada em 3D da célula eucarionte animal, compostas pelas estruturas celulares da membrana plasmática e do citoplasma e as organelas organizadas e pertencentes à célula animal.

Na modelagem em 3D das duas células eucariontes, implementamos as técnicas em referência às seis matrizes conceituais, mais especificamente, as

matrizes relacionadas ao *design* dos objetos, a de interação com os objetos e, por fim, a matriz relacionada aos conceitos computacionais.

As estratégias entregues pelas matrizes conceituais nos permitiu transmitir por meio de uma construção minuciosa de um *design* projetado, especialmente, em atendimento às necessidades específicas do MCT, tais como: a segurança em arredondar cada um dos cantos dos modelos em 3D, manter um *design* agradável em seus contornos e formas e nos demais requisitos entregues por essas seis matrizes.

Figura 106 – Modelagem experimental da célula animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A modelagem das interfaces experimentais, Figura 105 e Figura 106 das células eucariontes vegetal e animal, foram os resultados entregues pelo segundo objetivo específico da pesquisa e pela primeira rodada da prototipagem

evolutiva defendida por Pressman (2011) a ser validado pelo professor participante.

No próximo item, o docente participante validou as interfaces experimentais do MCT que, posteriormente, foram validadas pelos alunos com deficiência visual que participaram da pesquisa.

6.3 A validação do MCT

Até esta fase da pesquisa, as interfaces experimentais são somente arquivos que foram modelados em 3D no Fusion 360, permitindo uma maior eficiência no processo de desenvolvimento e de construção, além do baixo custo de produção por não existir o desperdício de material e por minimizar o tempo de desenvolvimento dos protótipos.

A metodologia da prototipagem evolutiva de Pressman (2011) atinge a quinta fase, que foi o “**Emprego, entrega e Realimentação**” e o fechamento de um ciclo completo da prototipagem.

Iniciamos a validação das interfaces temáticas experimentais, a **FASE_03** da pesquisa de campo, que validou as interfaces na visão docente e a **FASE_04** da pesquisa de campo, que validou as interfaces na visão dos alunos com deficiência visual participantes da pesquisa.

6.3.1 A validação conceitual do MCT na visão docente

Iniciamos a **FASE_03** da pesquisa de campo, que validou as interfaces temáticas experimentais das células eucariontes vegetal e animal na visão do docente, finalizando, parcialmente, o terceiro objetivo específico da pesquisa.

Em junho de 2024, realizamos uma reunião em formato remoto, com o docente participante, que aceitou ser gravado e apresentamos os resultados da modelagem experimental das células eucariontes vegetal e animal, Figura 105 e Figura 106, conforme previsto na metodologia descrita no item 5.3.1.

Informamos ao docente que as interfaces experimentais das duas células eucarióticas foram projetadas e modeladas em 3D no Fusion 360, incorporando orifícios com pontos metálicos que captam o toque no mapa tátil. Assim que o usuário encosta nesses pontos, o computador tátil identifica a ação e reproduz a

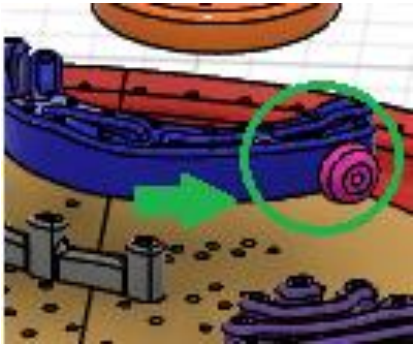
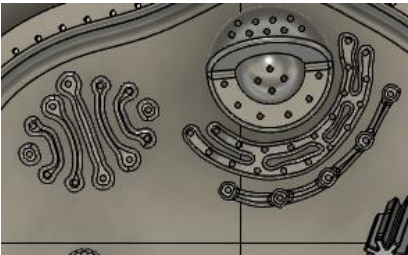
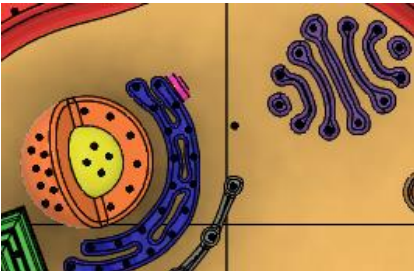
audiodescrição correspondente ao símbolo tátil. As audiodescrições são editáveis pelo professor e armazenadas tanto localmente no computador tátil do MCT quanto remotamente, no repositório do portal eduCAPES.

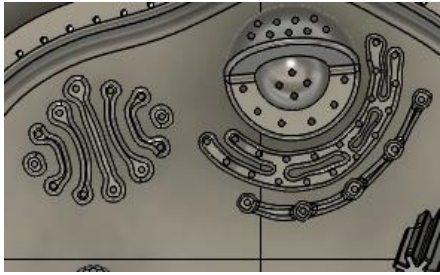
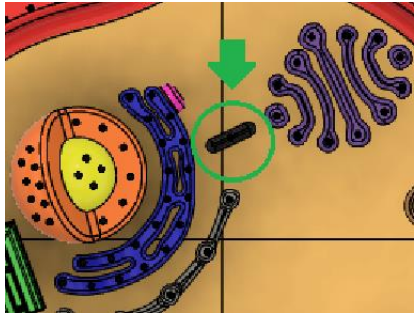
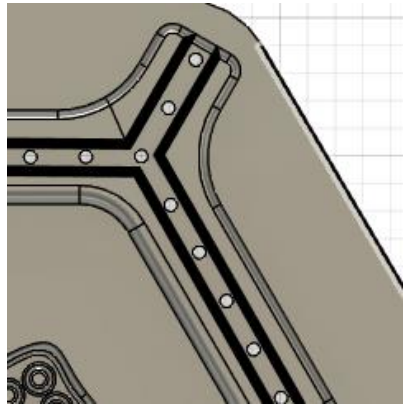
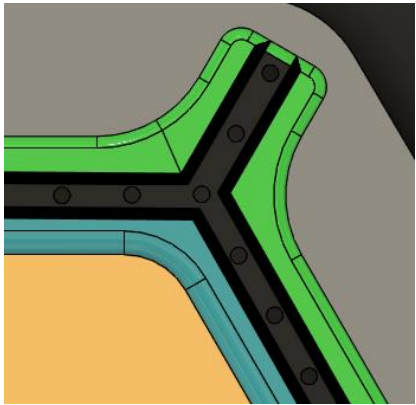
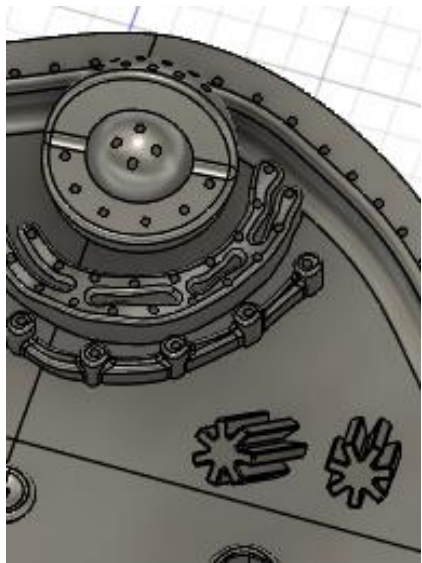
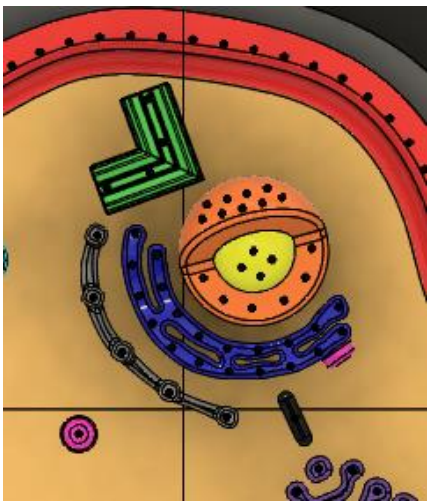
Também comunicamos ao docente que, nesta fase da pesquisa, as interfaces seriam aprimoradas com base em suas observações técnicas, de modo a garantir que a versão experimental atendesse às necessidades educacionais de apresentação do conteúdo, superando as barreiras enfrentadas pelos estudantes com deficiência visual e que incorporasse as práticas pedagógicas específicas em atendimento a esse público.

Sendo assim, aplicamos o **“Roteiro de entrevista livre de validação docente”**, para o registro dos requisitos sobre esta fase da pesquisa de campo.

Em análise da modelagem experimental proposta na Figura 105 e na Figura 106, o professor participante apontou diversas oportunidades de melhorias relacionadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Oportunidade de melhorias docentes.

Oportunidades de Melhorias	Antes	Pontos Evoluídos
No Retículo Endoplasmático Rugoso existem diversos Ribossomos fixados em sua parede.		
O Complexo de Golgi necessita estar próximo ao Retículo Endoplasmático Rugoso.		

Criar um símbolo tátil que indique a relação entre o RER e o Complexo de Golgi.		
Diferenciar a Parede Celular da Membrana Plasmática em textura e em cores.		
Modificar a disposição dos centríolos que se encontram em pé, devendo ser virado para a ré do Núcleo, deitado e em ângulo perpendicular.		

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

No Quadro 12, o professor participante, nos apontou a primeira oportunidade de melhoria, atentando a uma das diferenças estruturais existentes entre o Retículo Endoplasmático Liso (REL) e o Retículo Endoplasmático Rugoso (RER) nas células eucariontes vegetal e animal, que ao longo das paredes do RER, existem diversos ribossomos fixados em sua parede, o que foi corrigido na próxima versão modelada em 3D nas duas interfaces experimentais.

A segunda oportunidade de melhoria foi o reposicionamento da organela do Complexo de Golgi, que a sua parte mais pontiaguda em seu formato oval deve ser direcionada e próxima ao RER, pois, segundo o professor participante, essas organelas se relacionam funcionalmente, sendo corrigido nas duas interfaces experimentais.

A terceira oportunidade de melhoria foi a criação de um símbolo tátil que permita ao aluno por meio do tato compreender melhor a interação bioquímica e funcional que ocorre entre o complexo de Golgi e o Retículo Endoplasmático Rugoso.

A quarta oportunidade de melhoria foi diferenciar em cores, em atendimento aos alunos de baixa visão, e na textura, em atendimento aos alunos cegos, a Parede Celular da Membrana Endoplasmática na célula vegetal para que o aluno possa identificar e diferenciar com mais facilidade o formato dessas duas estruturas celulares.

A quinta oportunidade de melhoria foi a remodelagem em 3D da organela dos centríolos, que foram, inicialmente, modeladas em 3D para ficarem na horizontal anguladas em 30 graus a partir do citoplasma, o professor participante nos informou que os centríolos possuem um formato de triângulo, com um de seus vértices em 45 graus e a ponta desse ângulo aponta para o núcleo, além dele ser posicionado “deitado” em relação à base do citoplasma, entendemos o novo *design* e realizamos as modificações necessárias em atendimento à evolução da célula animal.

O professor participante, também, atentou-se ao fato pelo qual não respeitamos a proporcionalidade numérica em relação a alguma das organelas, devido ao fato das células eucariontes animal e vegetal possuírem mais de uma organela espalhadas pelo citoplasma, assim, como nos ribossomos que estão presentes em abundância numérica espalhados pelo citoplasma e fixados, também, à parede do retículo endoplasmático rugoso.

Explicamos ao professor participante, que adotamos como metodologia, estratégia, que evitam a poluição do mapa tátil, assim, mesmo que na realidade as organelas sejam em maior número na estrutura celular, utilizamos a representatividade somente em uma unidade desse símbolo tátil, para evitarmos prejuízo no reconhecimento dos símbolos táteis por parte dos alunos cegos, esse requisito consta na matriz conceitual relacionada no design dos objetos.

As oportunidades de melhorias, em alguns dos casos, impactaram em ambas as células eucariontes e em outros casos, somente a célula vegetal ou somente a célula animal e todas foram atendidas, pois as peças foram reposicionadas, remodeladas em 3D e validadas pelo professor participante da pesquisa de campo como previsto na metodologia.

Outro fator bem relevante foi a escolha das cores para diferenciar as estruturas celulares e as organelas uma das outras, adotamos a mesma estratégia de realizar todas as modificações no modelo em 3D através do Fusion 360, antes de apresentar ao professor participante, a célula eucarionte vegetal foi ilustrada na Figura 107.

Figura 107 – A célula vegetal em suas cores experimentais.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Priorizamos cores vibrantes para compor um *design* que permitisse melhor atender aos usuários de baixa visão e dentro do possível, utilizamos cores que representassem as estruturas celulares e as organelas em uma

momento em que ele comparar ambas as células e perceber que existem organelas que são encontradas nas duas estruturas celulares, assim, como o aluno cego deve ter a mesma percepção em relação ao formato e ao contorno das organelas posicionadas nas duas células.

Diferentemente do que ocorreu na pesquisa de mestrado, em que Silva Junior (2018), realizou essa testagem alterando as tonalidades no próprio mapa tátil, gerando muito mais trabalho e custo ao projeto, por ser realizado de forma, totalmente, artesanal.

Iniciamos mais um ciclo da prototipagem evolutiva de Pressman (2011), ao apresentarmos os resultados ao professor participante em busca dos requisitos para a validação das cores.

Por meio de uma reunião em formato remoto, apresentamos a modelagem em 3D ao professor participante, que validou o *design* das cores sem oferecer nenhuma oportunidade de melhoria, concordando com todos os requisitos relacionados ao posicionamento das organelas e as cores selecionadas para diferenciar todos os símbolos táteis na interface temática experimental do MCT.

A partir da validação das células eucariontes, iniciamos a modelagem da base em MDF de 3 mm, que organizou todos os elementos disponíveis nas interfaces temáticas do mapa tátil para o MCT, prestando suporte ao aluno em seu estudo temático, conforme a proposta apresentada pela modelagem computacional tátil.

Definimos a caixa-base construída em MDF de 3 mm, nas dimensões de 45 cm x 32 cm x 2,5 cm, para receber e organizar a base deslizante do computador tátil, a porta USB de alimentação do sistema, e todos os símbolos táteis compostos pelas estruturas celulares, pelas organelas, pelos recursos da escrita em tinta, em atendimento aos alunos de baixa visão, e do Braille, em atendimento às necessidades dos alunos cegos, apresentamos a modelagem completa em 3D das duas células eucariontes, ilustradas na Figura 109 e na Figura 110.

Figura 109 – Interface Experimental do MCT – Célula Vegetal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Figura 110 – Interface Experimental do MCT – Célula Animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

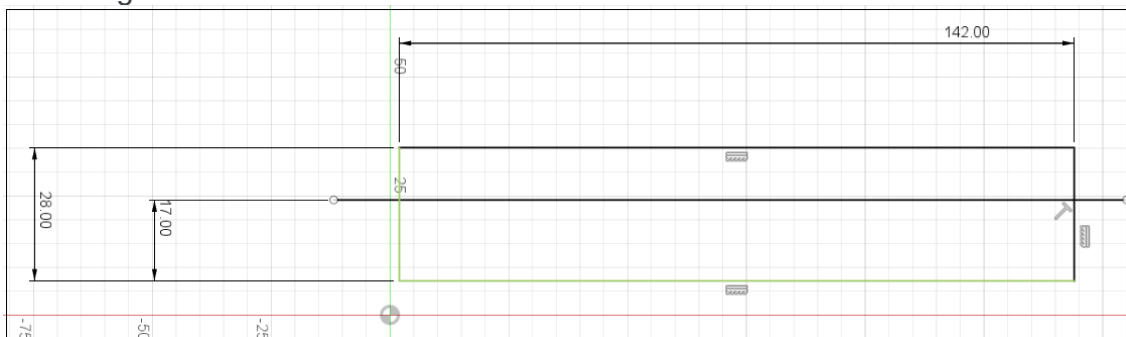
Na Figura 109 e na Figura 110, apresentamos as interfaces temáticas experimentais das células eucariontes vegetal e animal, totalmente modeladas em 3D e prontas para serem validadas pelo professor participante.

Antes disso, descreveremos como foram construídas as molduras em escrita em tinta e em Braille.

Seguindo os requisitos das matrizes conceituais de *design* dos objetos, modelamos a escrita em Braille logo acima da escrita em tinta, utilizamos a fonte *APHont*™ (pronunciado Ay-font), desenvolvido e recomendado pela *American Printing House for the Blind, Inc* (APH), possuindo atributos para melhorar a eficiência e a velocidade da leitura em tinta para os leitores que possuem baixa visão.

Para desenvolver a moldura, construímos e trabalhamos a base em 2D no Fusion 360, nas dimensões 14,2 cm x 2,8 cm x 6,5 cm, conforme a Figura 111, utilizando a mesma técnica para todas as modelagens em 3D na pesquisa, sempre desenvolvemos a construção em 2D depois avançamos para a modelagem em 3D.

Figura 111 – Base em 2D da moldura de escrita em tinta e Braille.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Dividimos a moldura em duas partes básicas, o espaçamento inferior destinado à escrita em tinta e a superior destinada à escrita em Braille, o Fusion 360, permite importar novas fontes e foi o que fizemos com a *APHONT* para escrever, na área destinada para a escrita em tinta, Figura 112, “MCT PGCTIn UFF”, este símbolo tátil, permitiu ao aluno com deficiência visual, a ter acesso às informações sobre a pesquisa, desenvolvida para entregar essas interfaces temáticas.

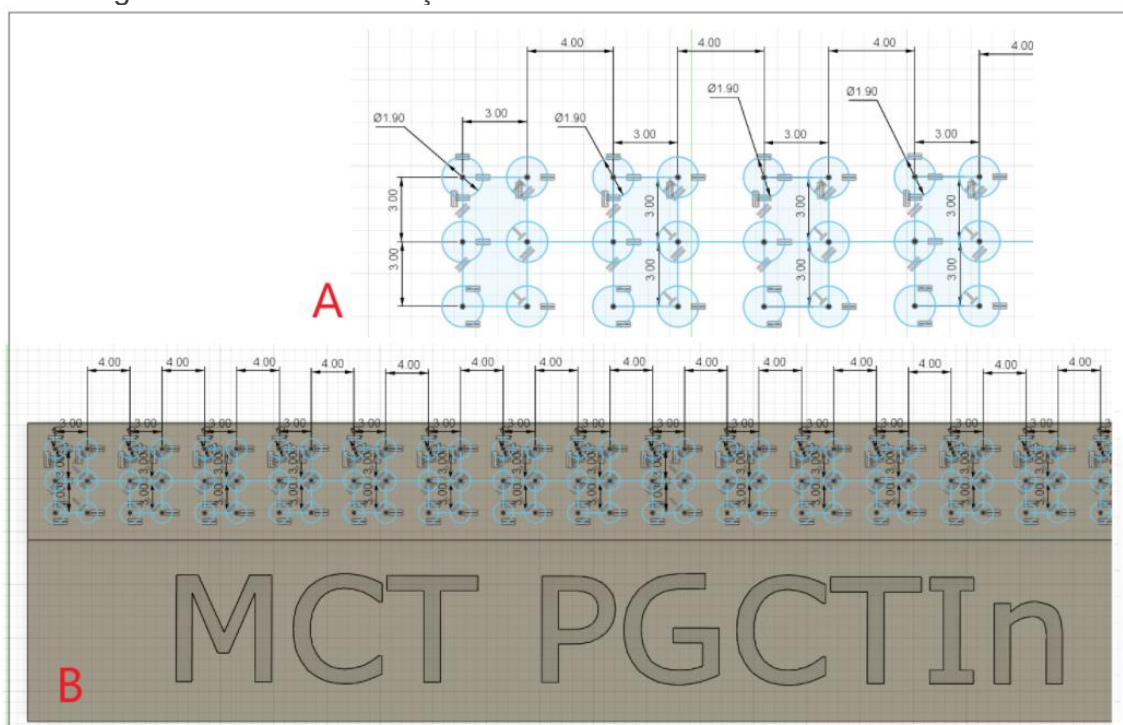
Figura 112 – A área de escrita em tinta na moldura do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Após a construção da área de escrita em tinta, desenvolvemos a escrita em Braille no símbolo tátil da moldura do MCT, Figura 113, primeiramente, construímos a célula Braille, Figura 113 (A), composta por seis orifícios em que buscamos um *design* que fosse agradável à leitura do aluno fluente na leitura do Braille, utilizamos um espaçamento de 3 mm entre os centros dos seis orifícios e 4 mm de espaçamento entre as células Braille, encadeadas até que se formasse as palavras a serem lidas pelos educandos, Figura 113 (B).

Figura 113 – A construção das células Braille na moldura do MCT.

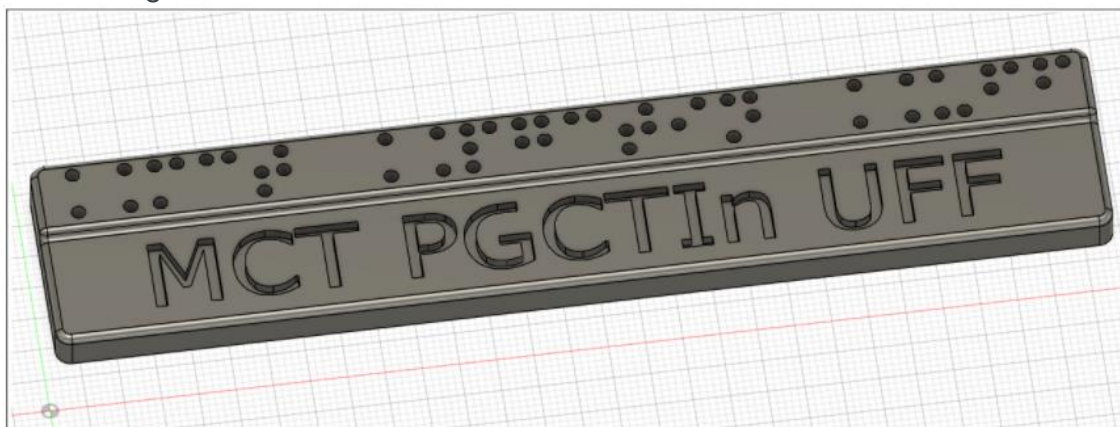


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 114, apresentamos a moldura na escrita em tinta e em Braille finalizada, aplicamos todos os requisitos entregues pela matriz conceitual do

design dos objetos possíveis à modelagem em 3D, percebemos que todos os cantos forma arredondados, permitindo maior segurança ao usuário em tatear esse símbolo tátil e um melhor dimensionamento das palavras escritas em tinta e em Braille.

Figura 114 – Moldura em tinta e em Braille do MCT finalizada.

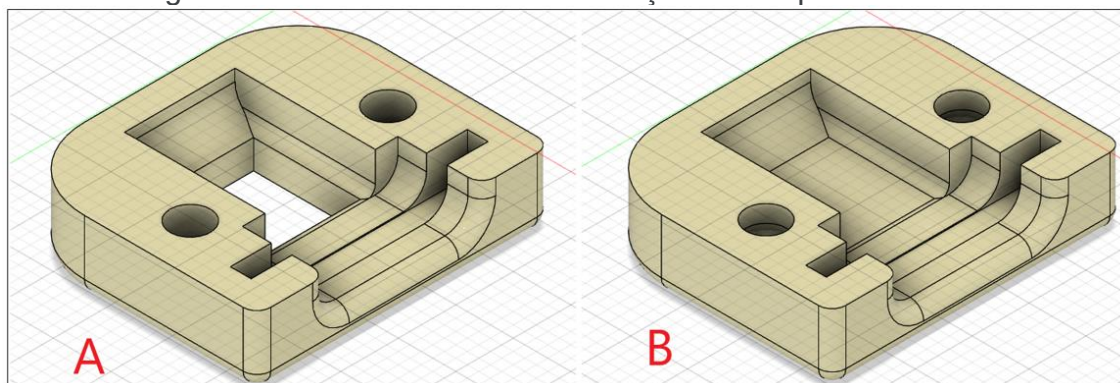


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Todas as molduras táteis foram projetadas utilizando o mesmo princípio de construção, modificamos somente a informação a ser informada pelo símbolo tátil, conforme observamos na Figura 109 e na Figura 110.

Por último, modelamos o invólucro da base, Figura 115 (A) e da tampa, Figura 115 (B), que abrigou uma porta USB do tipo C, para receber a alimentação de 5v por meio de um simples carregador de celular.

Figura 115 – Conector de alimentação USB tipo C do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Assim, finalizamos a modelagem em 3D, utilizando o Fusion 360, que aplicou os requisitos entregues pelas seis matrizes conceituais da modelagem computacional tátil.

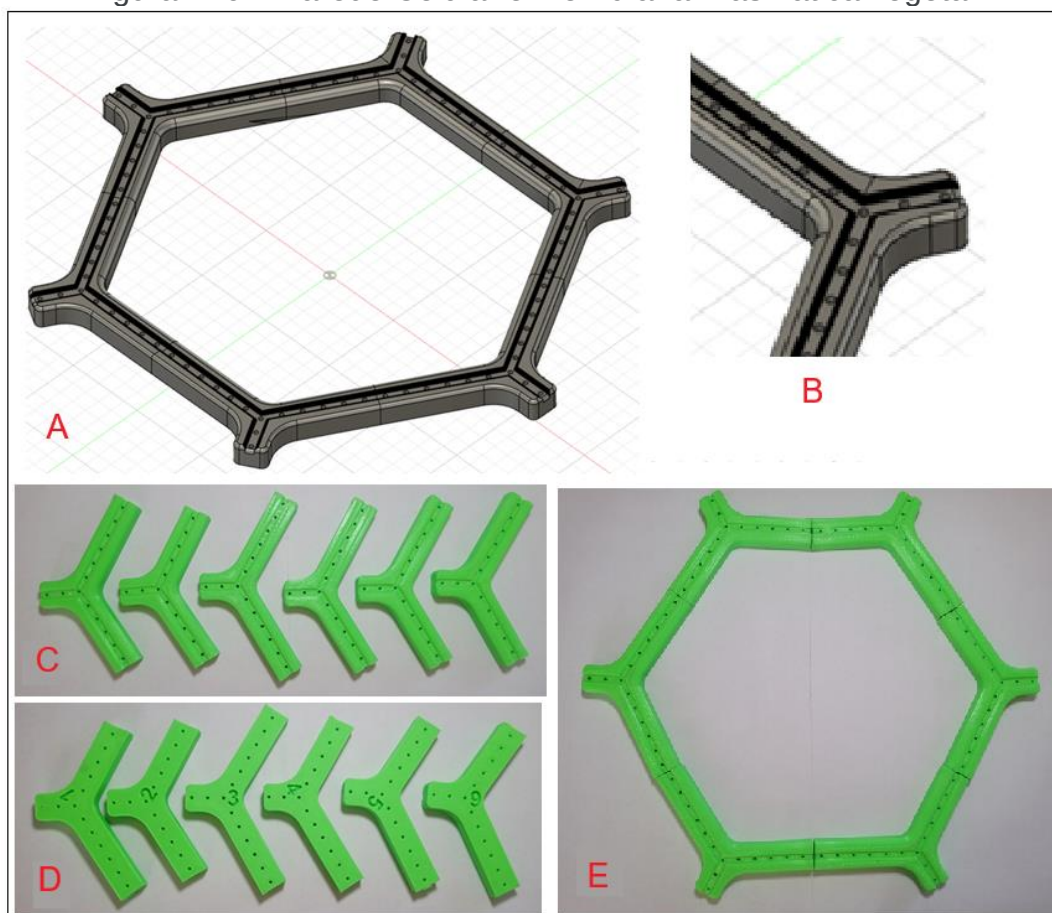
Os resultados entregues pela modelagem em 3D foram todas as partes que integraram as interfaces temáticas experimentais das células eucariontes vegetal e animal, exatamente, conforme ilustramos na Figura 109 e na Figura 110.

As interfaces experimentais foram validadas pelo professor participante por meio de aplicativos de mensagens e por meio de reuniões de validação agendadas via reunião remota.

O próximo passo foi desenvolver, fisicamente, as interfaces temáticas experimentais do MCT para serem validadas, presencialmente, pelo professor participante e pelos alunos com deficiência visual no Colégio Pedro II.

Na Figura 116, apresentamos os resultados obtidos com a impressão da estrutura celular da parede celular e da membrana plasmática da célula vegetal.

Figura 116 – Parede Celular e Membrana Plasmática vegetal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 116 (A), temos a modelagem da estrutura celular hexagonal, que representou o símbolo tátil da parede celular, localizada na parte mais externa à cavidade que abrigou os orifícios modelados para receberem os pinos táteis metálicos, Figura 116 (B), e o símbolo tátil da membrana celular, localizada mais internamente, à cavidade dos orifícios, Figura 116 (B).

Na Figura 116 (C), apresentamos os resultados da impressão em 3D dessa estrutura celular, em vista superior, sendo dividida em seis partes, já na Figura 116 (D), ilustramos a mesma divisão em uma vista de fundo, apresentando a ordem numérica para a correta montagem, como apresentada na Figura 116 (E).

Na Figura 117, ilustramos os resultados obtidos com a impressão em 3D da estrutura celular do citoplasma e da membrana plasmática da célula animal.

Figura 117 – Citoplasma e Membrana Plasmática animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

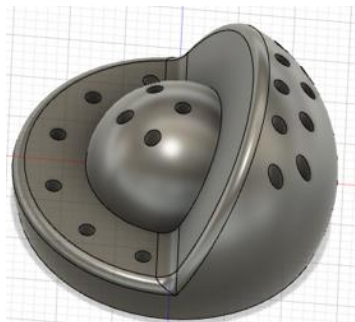
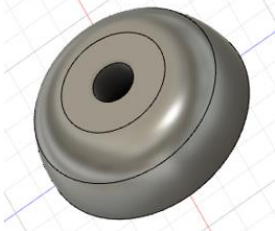
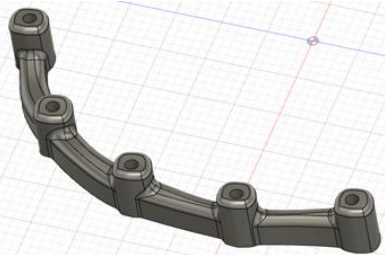
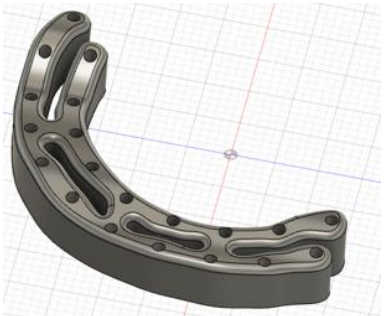
Na Figura 117 (A), temos a modelagem completa da estrutura celular do citoplasma e da membrana plasmática da célula animal. Na Figura 117 (B), ilustramos como modelamos o símbolo tátil da membrana plasmática que é a

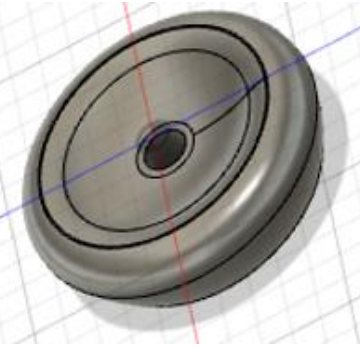
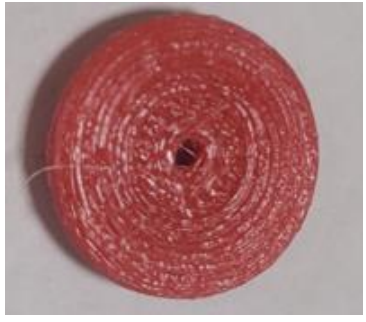
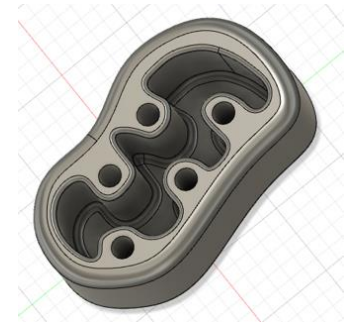
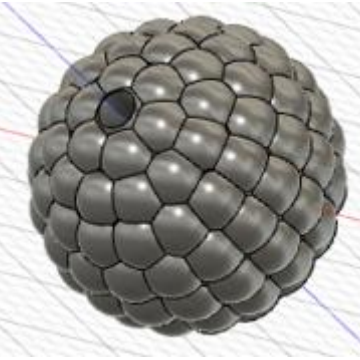
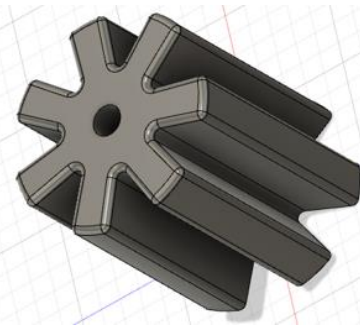
estrutura celular que envolve todo o citoplasma neste modelo tátil, além dos orifícios que receberam os pinos táteis metálicos.

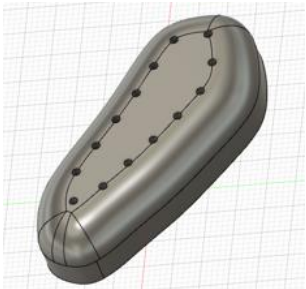
Para segmentar o tempo de impressão, dividimos essa modelagem em oito partes, sendo quatro delas, a base da célula, Figura 117 (D) e mais quatro partes, o símbolo tátil da membrana plasmática, Figura 117 (C), assim, unindo todas as oito partes, temos a base da célula animal completa, Figura 117 (E).

Os resultados sobre a impressão das organelas foram organizados no Quadro 13.

Quadro 13 – Organelas modeladas e impressas em 3D.

Organelas	Modelagem em 3D	Peça Impressa em 3D
Núcleo e Nucléolo		
Ribossomo		
Retículo Endoplasmático Liso		
Retículo Endoplasmático Rugoso		

Complexo de Golgi		
Peroxisomo		
Mitocôndria		
Lisossomo		
Centríolos		

Cloroplasto		
Vacúolo Central		
Glioxissomo		

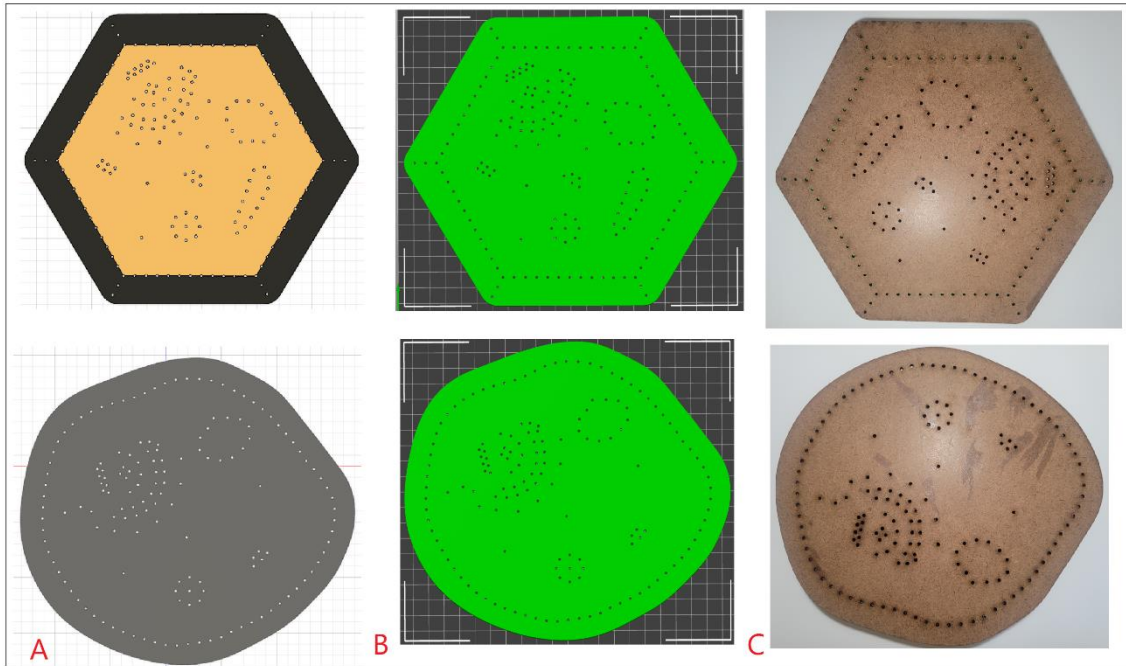
Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Um total de doze organelas foram modeladas, impressas em 3D e distribuídas nas estruturas celulares das células eucariontes vegetal e animal.

O processo de transformação da modelagem em 3D para a impressão em 3D, transcorreu por meio da utilização e operação da impressora 3D, modelo Ender 5 S1, fabricada pela Creality, Figura 77, executando o *firmware* para impressoras 3D do Klipper, Figura 78 e o fatiamento das peças no formato de extensão em STL, utilizando o fatiador Prusa Slicer, Figura 67, que gerou os arquivos no formato G-code para serem impressos na impressora Ender, o mesmo procedimento que entregou os resultados na impressão em 3D do invólucro do computador tátil do MCT, item 6.1.4.2.

Com as estruturas celulares e as organelas impressas, iniciamos a montagem celular, primeiramente, construímos a base celular, por onde todas as peças foram montadas e coladas, Figura 118.

Figura 118 – A construção da base celular do MCT.

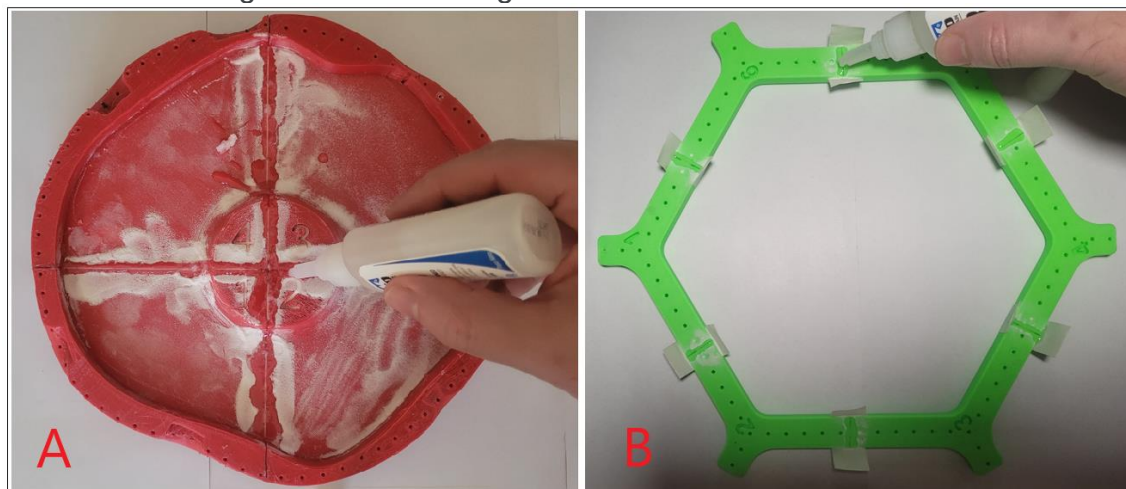


Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na coluna da Figura 118 (A), temos modelados em 3D a base celular vegetal e animal, cujo orifícios, foram, milimetricamente, dispostos para a passagem dos fios que interligaram os sensores táteis ao computador tátil, na Figura 118 (B), temos a ilustração das bases no Prusa Slicer e na Figura 118 (C), apresentamos fotos das bases cortadas a laser na CNC.

Na Figura 119 (A) e na Figura 118 (B), ilustramos a montagem e colagem das células eucariontes animal e vegetal, respectivamente.

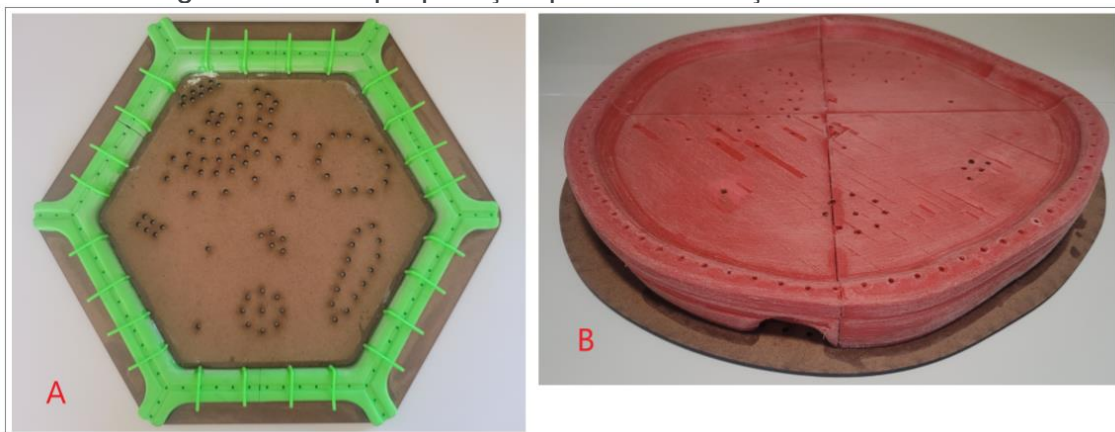
Figura 119 – A colagem das estruturas celulares.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 120, as estruturas celulares foram coladas à base, bem lixadas e no caso da célula vegetal, Figura 120 (A), adicionamos a colagem de fios de plástico para a construção da textura interna à membrana plasmática, como sugerida pelo professor participante na quarta oportunidade de melhoria. Na Figura 120 (B), temos a foto da célula animal pronta para receber a texturização com a massa acrílica.

Figura 120 – A preparação para texturização das células.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 121, apresentamos a montagem e a disposição das organelas distribuídas ao longo do perímetro da membrana plasmática, tendo como base o citoplasma, dimensionando os símbolos táteis na célula vegetal, Figura 121 (A) e na célula animal, Figura 121 (B).

Figura 121 – A montagem das células.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A Figura 122 apresenta a foto das estruturas celulares texturadas em massa acrílica na cor branca, bem lixadas e aplicamos uma tinta preta para gerar um contraste visual para a identificação de imperfeições a serem corrigidas com a reaplicação e lixamento de massa acrílica até que o material apresente um ótimo e fino acabamento em sua construção.

Figura 122 – Textura e pintura das células.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 123, apresentamos a foto das bases celulares finalizadas e bem acabadas na pintura de contraste preta, com todos os símbolos táteis das organelas posicionadas e secando ao sol.

Figura 123 – A pintura base das células.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Com a montagem das bases, das estruturas celulares e suas organelas, iniciamos a preparação das bases que acomodaram as interfaces temáticas experimentais das células eucariontes, com todos os símbolos táteis, projetados para o MCT, Figura 124.

Figura 124 – A preparação da base das interfaces temáticas do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Conforme foram ilustradas na Figura 109 e na Figura 110, projetamos no processo da modelagem em 3D, a caixa-base, sendo construída em MDF de 3 mm, nas dimensões de 45 cm x 32 cm x 2,5 cm, para receber e organizar os fios, a base deslizante do computador tátil, a porta USB de alimentação do sistema, e todos os símbolos táteis compostos pelas estruturas celulares, pelas organelas e pelas molduras de escrita em tinta e em Braille.

Na Figura 125, apresentamos a base celular fixada à caixa-base e iniciamos o dimensionamento e a distribuição da caixa deslizante que acopla o computador tátil e mais as molduras que foram os símbolos táteis que receberam a escrita em tinta e em Braille, que estruturaram o estudo por meio do MCT.

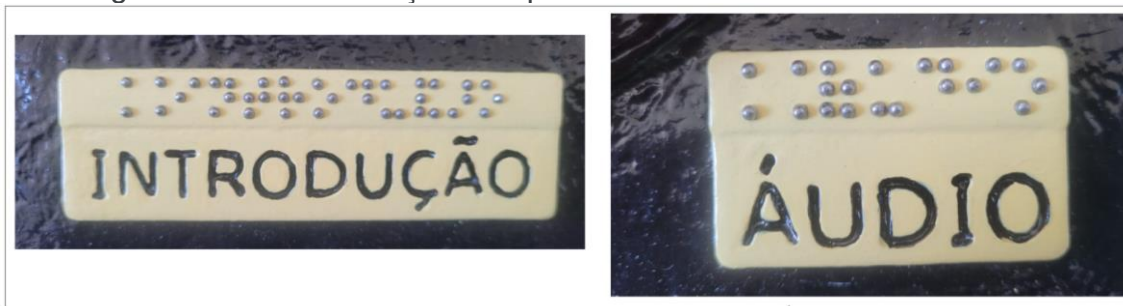
Figura 125 – A montagem das células e dos símbolos táteis.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 126, apresentamos a fotografia de como foram instalados os pinos metálicos táteis que captaram a interação tátil do aluno com os símbolos táteis dispostos pelas interfaces temáticas. Como exemplo, demonstramos essa construção nas molduras táteis da “Introdução” e do “Áudio”.

Figura 126 – A instalação dos pontos metálicos táteis na interface.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A construção das interfaces temáticas experimentais das células eucariontes modeladas em 3D, Figura 109 e Figura 110, assim, finalizamos a construção física dessas interfaces, apresentadas na Figura 127 e na Figura 128.

Figura 127 – A interface experimental da célula vegetal do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Figura 128 – A interface experimental da célula animal do MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Na Figura 129, apresentamos a técnica de como realizamos a interconexão de todos os sensores táteis distribuídos pelas interfaces temáticas experimentais até a caixa deslizante, Figura 83, Figura 84, Figura 85 e Figura 86, que foi projetada para receber o computador tátil.

Figura 129 – Ligação entre os sensores táteis e o computador tátil.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A construção física das duas interfaces experimentais foi concluída e avançamos com a implementação dos requisitos entregues pela matriz conceitual da interação com os objetos que trabalhou a forma em que os conteúdos acadêmicos foram apresentados pela interface ao aluno com deficiência visual.

Aplicamos a metodologia descrita no item 6.1.1.5, assim como as técnicas sensoriais utilizadas pelos diversos autores citados e, também, como desenvolvido na pesquisa da computação embarcada em mapas táteis, desenvolvida por Silva Junior (2018), como produto do mestrado.

Dividimos um grande volume de conteúdo acadêmico sobre as células eucariontes vegetal e animal pelos sensores táteis distribuídos pelo mapa tátil temático experimental.

Essa foi a estratégia de estudo dirigido utilizada, em que o aluno com deficiência visual conseguiu iniciar os seus estudos, sendo orientado em seu início até o fim, por meio de técnicas embarcadas no próprio objeto.

A técnica consiste em manter uma interação constante e fluída entre o objeto e o aluno, assim como defendida por Piaget (1971), pois o aluno interage com o tato e o mapa tátil interage com a audiodescrição referente àquele ponto tátil tocado pelo aluno.

Aplicamos essa técnica por meio da criação dos recursos computacionais, que gerencie essa interação, por meio dos acionamentos dos sensores táteis e a reprodução correta da audiodescrição desse ponto tátil.

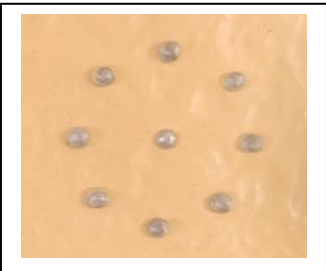
No Quadro 14 e no Quadro 15, apresentamos o estudo dirigido desenvolvido para manter essa interação entre o aluno e o objeto de forma eficiente.

No Quadro 14, analisamos como estruturamos o conteúdo acadêmico destinado na célula eucarionte vegetal.

Quadro 14 – Estudo dirigido sobre a célula vegetal.

N	Símbolo Tátil – Descrição	
Controle		Botão de Controle: Controla o volume do sistema, permite ao usuário aumentar e diminuir o volume do áudio reproduzido pelo computador tátil.
Controle		Botão de Controle: O botão de áudio permite ao usuário reproduzir a audiodescrição somente ao acionar a função de áudio.
01		

	Audiodescrição: O MCT foi desenvolvido pelo pesquisador: Elias Júnior, utilizando a tecnologia da Modelagem Computacional Tátil, em que o aluno interage por meio do seu tato e o mapa tátil retorna com a audiodescrição correspondente à cada símbolo tátil. A pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inclusão da Universidade Federal Fluminense. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “Introdução”, escrito em Braille, localizado logo acima a sua esquerda deste símbolo tátil. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/2/audio_educapes_1_1.m_p3
02	Audiodescrição: A Introdução. O aluno possui o objetivo de identificar e de conhecer todos os símbolos táteis, distribuídos ao longo desse mapa, que utiliza a tecnologia do MCT. Sempre no sentido de baixo para cima. O mapa possui um botão que deve ser mantido pressionado até que a audiodescrição seja liberada ao tocar e soltar o tato em cada um dos seus símbolos táteis. O aluno tem a opção de interromper a reprodução da audiodescrição, pressionando esse mesmo botão por cinco vezes e, também, a opção de aumentar ou diminuir o volume do áudio por meio do símbolo tátil, de nome. Volume, localizado à direita superior desse mapa. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “Escala”, escrito em Braille, localizado logo à direita da introdução. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/3/audio_educapes_1_2.m_p3
03	Audiodescrição: Escala. O tamanho médio de uma célula eucarionte vegetal pode variar de 10 até 100 micrômetros de diâmetro. Iremos considerar os 100 micrômetros. Neste mapa tátil, a parede celular foi medida em 29 centímetros de largura e em 26 centímetros de altura. Um centímetro possui 10 mil micrômetros, sendo o tamanho de seu dedo indicador. Este mapa foi aumentado em 2900 vezes o tamanho real da célula vegetal. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “A célula vegetal”, escrito em Braille, localizado mais à esquerda e acima da escala. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/4/audio_educapes_1_3.m_p3
04	Audiodescrição: A Célula Vegetal, neste Mapa Tátil, temos os símbolos táteis que representam as estruturas celulares e as organelas de uma Célula Vegetal Eucarionte. Logo mais acima, a célula é representada por um polígono de 6 lados. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “Parede celular e membrana celular”, que possuem um formato de um polígono de 6 lados, medindo 29

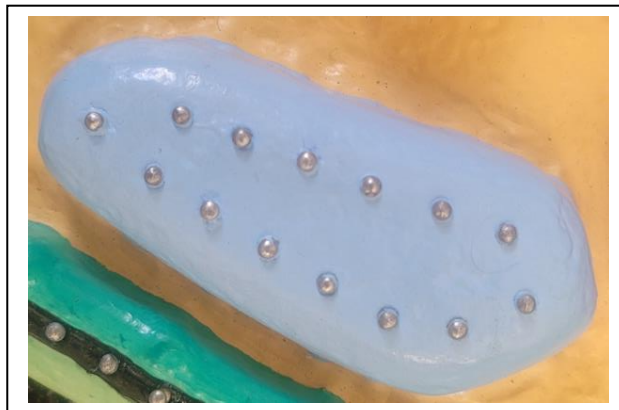
	centímetros de largura e 26 centímetros de altura, aumentado em 2900 vezes o seu tamanho real, que estão localizados logo acima deste símbolo tátil. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/5/audio_educapes_1_4.m3
05	 Audiodescrição: A parede celular e a membrana plasmática. A parede celular é uma estrutura celular, somente presente nas células vegetais e a membrana plasmática está presente nas células vegetais e animais. Essas estruturas celulares são diferentes, entre si, pois a parede celular é a estrutura mais externa da célula vegetal. Possui como principal função, a proteção de todo o vegetal, ao oferecer uma estrutura mais rígida. Representada pela cor, verde mais claro, e se divide com a membrana plasmática por uma faixa de cor preta e pelos sensores táteis que estão distantes a 1 cm entre si, ou a um dedo indicador, ou 10000 micrômetros entre cada um deles. Já a membrana plasmática, de cor verde mais escuro, envolve a célula vegetal de forma mais interna junto ao citoplasma e possui a função principal de controlar a troca de substâncias com o ambiente externo à célula vegetal. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Peroxisomo”, que possui um formato circular na cor marrom e está localizado mais à esquerda inferior da membrana plasmática. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/6/audio_educapes_1_5.m3
06	 Audiodescrição: O Peroxisomo. O peroxissomo é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor marrom, de formato cilíndrico arredondado, que possui enzimas, com a função de decompor as substâncias tóxicas, desempenhando, também, um papel no metabolismo dos lipídios. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da estrutura celular, de nome “Citoplasma”, que possui uma cor amarela escura e se estende por todo o interior da célula em volta da membrana plasmática, seu símbolo tátil encontra-se logo mais à direita do peroxissomo em formato circular. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/7/audio_educapes_1_6.m3
07	 Audiodescrição: O citoplasma. O citoplasma é uma estrutura celular, presente nas células animais e vegetais, na cor amarela-escura. Representa a base da célula, sendo composta por uma substância gelatinosa de nome, citosol, onde todas as organelas ficam suspensas e se interligam entre si, local onde as reações celulares acontecem, permitindo a interligação de todas as outras organelas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Vacúolo central”, que possui um

formato oval na cor azul e se encontra um pouco mais à direita do símbolo tátil do citoplasma.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/8/audio_educapes_1_7.mp3

08



Audiodescrição: O vacúolo central. O vacúolo central é uma organela, exclusiva da célula vegetal, de cor, azul-claro e possui um formato oval. Tem a função de estocagem de água, nutrientes, pigmentos, e produtos que serão descartados como as substâncias tóxicas, e, mantém, também, a rigidez e forma da célula por meio da pressão exercida entre o vacúolo e a parede celular. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Mitocôndria”, que possui um formato retangular arredondado na cor vermelha, localizado mais à esquerda do vacúolo central.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/9/audio_educapes_1_8.mp3

09



Audiodescrição: A Mitocôndria. A mitocôndria é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor vermelha, de formato retangular, arredondado e irregular, que possui a função principal de produzir energia para a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Glioxissomo”, que possui um formato esférico de textura lisa, localizado logo mais à esquerda da mitocôndria.

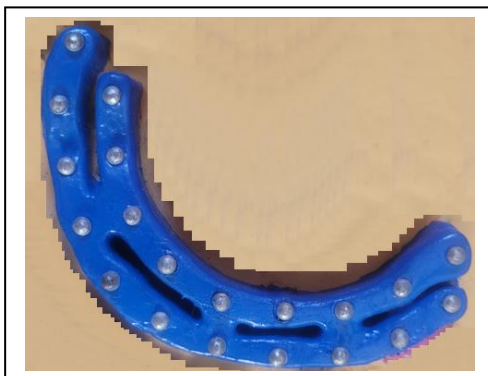
Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/11/audio_educapes_1_10.mp3

10	Audiodescrição: O glioxissomo. A organela do glioxissomo é exclusiva da célula vegetal e possui um formato de uma esfera lisa de cor cinza. Tem a função de converter os lipídios em energia, principalmente, durante a germinação, pois as sementes das plantas não possuem fontes de energia externas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Cloroplasto”, que possui um formato retangular arredondado na cor verde-claro, localizado mais à esquerda do glioxissomo. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/10/audio_educapes_1_9.mp3
11	Audiodescrição: O cloroplasto. O cloroplasto é uma organela exclusiva da célula vegetal, de formato retangular arredondado na cor verde-claro. Possui a função de promover a fotossíntese que é a conversão da luz em energia nas plantas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Retículo endoplasmático liso”, que possui um formato de meia-lua com 5 cilindros na cor cinza-escuro, localizado acima do cloroplasto. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/12/audio_educapes_1_11.mp3
12	Audiodescrição: O Retículo Endoplasmático Liso. O Retículo Endoplasmático Liso é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato em meia-lua com 5 cilindros na cor cinza-escuro. Possui a função de sintetizar e de metabolizar os lipídios, de armazenar o cálcio e de desintoxicar a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Ribossomo”, que possui o formato circular na cor rosa, localizado mais à direita do retículo endoplasmático liso. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/13/audio_educapes_1_12.mp3

13	Audiodescrição: O Ribossomo. O Ribossomo é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor rosa, de formato cilíndrico arredondado, possuem dois tipos, podem ser, livres, por estarem flutuando no citoplasma ou aderidos à parede do retículo endoplasmático rugoso. Este ribossomo encontra-se flutuando no citoplasma e possui a função principal de sintetizar as proteínas destinadas à célula e a de traduzir as moléculas de RNA mensageiro em cadeias de aminoácidos que formarão as proteínas funcionais ou estruturais da célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Complexo de Golgi”, que possui um formato oval com diversas ranhuras na cor lilás, localizado mais à direita do ribossomo. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/14/audio_educapes_1_13.mp3
14	Audiodescrição: O Complexo de Golgi. O Complexo de Golgi é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor lilás, de formato oval com diversas ranhuras de cor preta. Possui a função de modificar as proteínas sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso, empacotando essas proteínas para serem distribuídas pela célula, realizando a síntese dos carboidratos. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil que representa a interação entre o complexo de golgi e o retículo endoplasmático rugoso, de formato retangular de cantos arredondados, na cor preta, localizado à esquerda do complexo de golgi. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/15/audio_educapes_1_14.mp3
15	Audiodescrição: O símbolo tátil que representa a interação entre o complexo de golgi e o retículo endoplasmático rugoso. Essa interação ocorre nas duas células animais e vegetais. O complexo de Golgi e o retículo endoplasmático rugoso estão interligados no processo de produção, modificação e transporte de proteínas na célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Retículo endoplasmático rugoso”, que possui o formato de uma meia-lua de cor azul, localizado à esquerda do complexo de golgi. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/17/audio_educapes_1_16.mp3

16



Audiodescrição: O Retículo Endoplasmático Rugoso. O retículo endoplasmático rugoso é uma organela, presente nas células animais e vegetais, de cor azul, em formato de meia-lua. Possui diversos ribossomos aderidos em seu corpo, sendo responsável pela síntese e modificações das proteínas, transportando essas proteínas para o complexo de golgi que irá distribuí-las por toda a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Ribossomo”, que se encontra localizado na parede do retículo endoplasmático rugoso, de formato circular, na cor rosa e localizado na parte mais superior da parede do retículo endoplasmático rugoso.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/16/audio_educapes_1_15.mp3

17



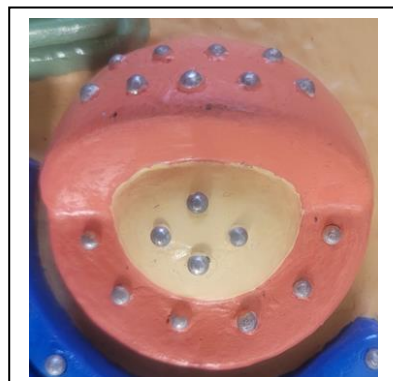
Audiodescrição: O Ribossomo do RER. O ribossomo é uma organela que se aderiu às paredes da estrutura do retículo endoplasmático rugoso, RER, presente nas células animais e vegetais, de formato cilíndrico arredondado, na cor rosa, responsáveis por produzirem proteínas destinadas à exportação, à membrana plasmática ou a organelas específicas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome

“Núcleo”, que se localiza mais à esquerda do retículo endoplasmático rugoso, possuindo um formato esférico na cor laranja.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/20/audio_educapes_1_19.mp3

18

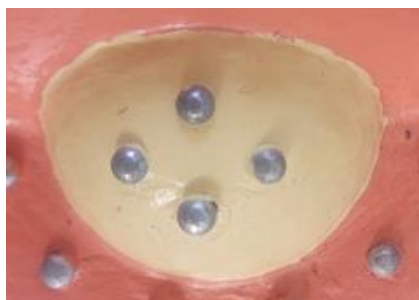


Audiodescrição: O Núcleo. O Núcleo é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato esférico, na cor laranja. Responsável por armazenar e proteger o DNA celular, onde é transcrito para a formação do RNA mensageiro que carrega as informações genéticas até o citoplasma. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Nucléolo”, que se encontra localizado no centro do núcleo em formato, também, esférico na cor amarela.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/18/audio_educapes_1_17.mp3

19



Audiodescrição: O nucléolo é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato esférico na cor amarela. Possui a função de produzir novos ribossomos, por armazenarem as proteínas ribossômicas importadas do citoplasma, que se unem ao RNA, formando as subunidades ribossômicas, exportadas para o citoplasma, e se combinam para a formação dos novos ribossomos completos. Assim, concluímos o nosso estudo, básico, sobre a célula vegetal eucarionte.

Link EduCAPES:

https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918478/19/audio_educapes_1_18.mp3

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O estudo dirigido foi desenvolvido por meio da audiodescrição guiada, que iniciamos no sentido de baixo para cima da interface temática, em que o usuário identifica, pelo tato, o primeiro símbolo tátil, o “MCT PGCTIn UFF”, que explica a modelagem computacional tátil para o usuário.

Ao final do áudio reproduzido, esse símbolo tátil, guia o usuário para localizar o próximo símbolo tátil disposto na interface, a “Introdução”, que informa por áudio como o estudo será conduzido e ao final da explicação, o áudio guia o aluno para o próximo símbolo tátil e assim sucessivamente até que o aluno possa identificar e conhecer o último símbolo tátil da interface temática do MCT.

Temos, ainda, o controle de volume do áudio reproduzido e um sistema no qual o computador tátil, somente reproduz a audiodescrição caso o aluno a autorize, por meio do acionamento do botão de controle de áudio.

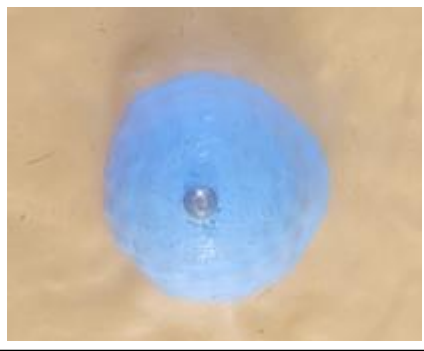
A célula vegetal contou com 19 símbolos táteis e dois símbolos de controle, relacionados no Quadro 14, para cada organela e estrutura vegetal, descrevemos as cores, as formas, em alguns casos as texturas, a sua função celular e a localização da próxima estrutura celular ou organela.

Disponibilizamos um link de acesso ao repositório on-line do MCT no portal da EduCAPES, que são os arquivos em MP3 reproduzido pelo MCT, ao ser conectado à Internet. Esse repositório é gerenciado pelo professor que altera e disponibiliza esse conteúdo para os usuários do sistema.

No Quadro 15, analisamos como estruturamos o conteúdo acadêmico destinado à célula eucarionte animal.

Quadro 15 – Estudo dirigido sobre a célula animal.

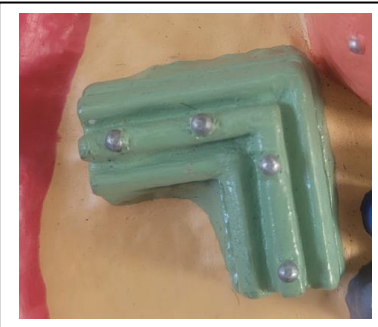
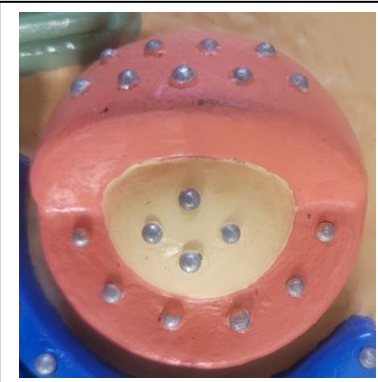
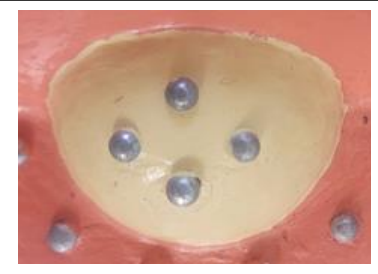
N	Símbolo Tátil – Descrição
Controle	 Botão de Controle: Controla o volume do sistema, permite ao usuário aumentar e diminuir o volume do áudio reproduzido pelo computador tátil.
Controle	 Botão de Controle: O botão de áudio permite ao usuário reproduzir a audiodescrição somente ao acionar a função de áudio.
01	 Audiodescrição: O MCT foi desenvolvido pelo pesquisador: Elias Júnior, utilizando a tecnologia da Modelagem Computacional Tátil, em que o Aluno interage por meio do seu tato e o mapa tátil retorna com a audiodescrição correspondente à cada símbolo tátil. A pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inclusão da Universidade Federal Fluminense. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “Introdução”, escrito em Braille, localizado logo acima a sua esquerda deste símbolo tátil. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/2/audio_educapes_2_1.mp3
02	 Audiodescrição: A Introdução. O aluno possui o objetivo de identificar e de conhecer todos os símbolos táteis, distribuídos ao longo desse mapa, que utiliza a tecnologia do MCT. Sempre no sentido de baixo para cima. O mapa possui um botão que deve ser mantido pressionado até que a audiodescrição seja liberada ao tocar e soltar o tato em cada um dos seus símbolos táteis. O aluno tem a opção de interromper a reprodução da audiodescrição, pressionando esse mesmo botão por cinco vezes e, também, a opção de aumentar ou diminuir o volume do áudio por meio do símbolo tátil, de nome. Volume, localizado à direita superior desse mapa. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “Escala”, escrito em Braille, localizado logo à direita da introdução. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/3/audio_educapes_2_2.mp3

03	 Audiodescrição: A Escala. O tamanho médio de uma célula eucarionte animal pode variar de 10 até 30 micrômetros de diâmetro. Iremos considerar os 30 micrômetros. Neste mapa tátil, a membrana plasmática foi medida em 28 centímetros de largura e em 25 centímetros de altura. Um centímetro possui 10 mil micrômetros, sendo o tamanho de seu dedo indicador. Este mapa foi aumentado em 9333 vezes o tamanho real da célula animal. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil, de nome “A célula animal”, escrito em Braille, localizado mais à esquerda e acima da escala. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/4/audio_educapes_2_3.mp3
04	 Audiodescrição: A Célula Animal. Neste Mapa Tátil, temos os símbolos táteis que representam as estruturas celulares e as organelas de uma Célula Animal Eucarionte. Logo mais acima, a célula Animal é representada por um formato circular e irregular. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da estrutura celular, de nome “Membrana plasmática”, que possui um formato circular e irregular, na cor vermelha, medindo 28 centímetros de largura e 25 centímetros de altura, aumentado em 9333 vezes o seu tamanho real, localizada logo acima deste símbolo tátil. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/5/audio_educapes_2_4.mp3
05	 Audiodescrição: A Membrana Plasmática. A membrana plasmática é uma estrutura que envolve toda a célula animal, também presente na célula vegetal, possui um formato circular e irregular de cor vermelha. Temos, ao redor de seu diâmetro, diversos sensores táteis que estão distantes a 1 cm entre si, ou a um dedo indicador, ou 10000 micrômetros entre cada um deles. A função dessa membrana é a de proteger a célula animal, envolvendo o citoplasma, possuindo a função principal de controlar a troca de substâncias com o ambiente externo à célula animal. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Lisossomo”, na cor azul-claro, localizado bem mais a esquerda inferior da membrana plasmática, de formato esférico e de textura áspera. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/6/audio_educapes_2_5.mp3
06	 Audiodescrição: O Lisossomo. O Lisossomo é uma organela exclusiva da célula animal, na cor azul-claro, de formato esférico e de textura áspera, que possui a função principal de degradar as substâncias por meio das enzimas digestivas capazes de quebrar as moléculas grandes em moléculas menores que serão utilizadas pela célula animal. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da estrutura celular, de nome “Citoplasma”, na cor amarela-escura que se estende em volta da

	membrana plasmática por todo o interior da célula, seu símbolo tátil encontra-se, à esquerda do Lisossomo em formato circular. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/8/audio_educapes_2_7.mp3
07	Audiodescrição: O citoplasma. O citoplasma é uma estrutura celular, presente nas células animais e vegetais, na cor amarela-escuro. Representa a base da célula, sendo composta por uma substância gelatinosa de nome, citosol, onde todas as organelas ficam suspensas e se interligam entre si, local onde as reações celulares acontecem, permitindo a interligação de todas as outras organelas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Mitocôndria”, que possui um formato retangular arredondado e irregular, na cor vermelha, localizado mais à direita do símbolo tátil do citoplasma. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/7/audio_educapes_2_6.mp3
08	Audiodescrição: A Mitocôndria. A mitocôndria é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor vermelha, de formato retangular, arredondado e irregular, que possui a função principal de produzir energia para a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Ribossomo”, na cor rosa, localizado à esquerda superior da mitocôndria, de formato cilíndrico arredondado. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/9/audio_educapes_2_8.mp3
09	Audiodescrição: O Ribossomo. O Ribossomo é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor rosa, de formato cilíndrico arredondado, possuem dois tipos, podem ser, livres, por estarem flutuando no citoplasma ou aderidos à parede do retículo endoplasmático rugoso. Este ribossomo encontra-se flutuando no citoplasma e possui a função principal de sintetizar as proteínas destinadas à célula e a de traduzir as moléculas de RNA mensageiro em cadeias de aminoácidos que formarão as proteínas funcionais ou estruturais da célula. Agora, o aluno deve tatear

	o símbolo tátil da organela, de nome “Peroxissomo”, na cor marrom, localizado à direita superior do ribossomo, de formato cilíndrico arredondado. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/10/audio_educapes_2_9.mp3
10	Audiodescrição: O Peroxissomo. O peroxissomo é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor marrom, de formato cilíndrico arredondado, que possui enzimas, com a função de decompor as substâncias tóxicas, desempenhando, também, um papel no metabolismo dos lipídios. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Complexo de Golgi”, na cor lilás, localizado, logo, acima do peroxissomo, de formato oval com diversas ranhuras de cor preta. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/12/audio_educapes_2_11.mp3
11	Audiodescrição: O Complexo de Golgi. O Complexo de Golgi é uma organela presente nas células animais e vegetais, na cor lilás, de formato oval com diversas ranhuras de cor preta. Possui a função de modificar as proteínas sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso, empacotando essas proteínas para serem distribuídas pela célula, realizando a síntese dos carboidratos. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil que representa a interação entre o complexo de golgi e o retículo endoplasmático rugoso, de formato retangular-arredondado, na cor preta, localizado à esquerda do complexo de golgi. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/15/audio_educapes_2_14.mp3
12	Audiodescrição: O símbolo tátil que representa a interação entre o complexo de golgi e o retículo endoplasmático rugoso. Essa interação ocorre nas duas células animais e vegetais. O complexo de Golgi e o retículo endoplasmático rugoso estão interligados no processo de produção, modificação e transporte de proteínas na célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Retículo endoplasmático rugoso”, que possui o formato de uma meia-lua de cor azul, localizado à esquerda do complexo de golgi. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/16/audio_educapes_2_15.mp3

13	Audiodescrição: O Retículo Endoplasmático Rugoso. O retículo endoplasmático rugoso é uma organela, presente nas células animais e vegetais, de cor azul, em formato de meia-lua. Possui diversos ribossomos aderidos em seu corpo, sendo responsável pela síntese e modificações das proteínas, transportando essas proteínas para o complexo de golgi que irá distribuí-las por toda a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Ribossomo”, que se encontra localizado na parede do retículo endoplasmático rugoso, de formato cilíndrico arredondado, na cor rosa, localizado na parte mais superior da parede do retículo endoplasmático rugoso. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/13/audio_educapes_2_12.mp3
14	Audiodescrição: O Ribossomo do RER. O ribossomo é uma organela que se aderiu às paredes da estrutura do retículo endoplasmático rugoso, RER, presente nas células animais e vegetais, de formato cilíndrico arredondado, na cor rosa, responsáveis por produzirem proteínas destinadas à exportação, à membrana plasmática ou a organelas específicas. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Retículo endoplasmático liso”, de formato em meia-lua com 5 cilindros na cor cinza-escuro, localizado, logo, abaixo do retículo endoplasmático rugoso. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/19/audio_educapes_2_18.mp3
15	Audiodescrição: O Retículo Endoplasmático Liso. O Retículo Endoplasmático Liso é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato em meia-lua com 5 cilindros na cor cinza-escuro. Possui a função de sintetizar e de metabolizar os lipídios, de armazenar o cálcio e de desintoxicar a célula. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Centríolo”, de formato em vê, com diversas ranhuras, na cor verde-claro, localizado, logo, à esquerda do início do retículo endoplasmático liso. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/11/audio_educapes_2_10.mp3

16		Audiodescrição: O Centríolo. O Centríolo é uma organela presente nas células animais, de formato em V, com diversas ranhuras, na cor verde-claro. A sua principal função é organizar e formar as fibras do fuso durante a divisão celular, participando ativamente do processo de mitose e meiose. Essas fibras do fuso são essenciais para a separação dos cromossomos, garantindo que cada célula filha receba o número correto de cromossomos. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Núcleo”, de formato esférico, na cor laranja, localizado, logo, à direita da ponta do V do centríolo. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/14/audio_educapes_2_13.mp3
17		Audiodescrição: O Núcleo. O Núcleo é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato esférico, na cor laranja. Responsável por armazenar e proteger o DNA celular, onde é transcrito para a formação do RNA mensageiro que carrega as informações genéticas até o citoplasma. Agora, o aluno deve tatear o símbolo tátil da organela, de nome “Nucléolo”, de formato esférico, na cor amarelo-claro, localizado, ao centro do núcleo. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/17/audio_educapes_2_16.mp3
18		Audiodescrição: O nucléolo. O nucléolo é uma organela presente nas células animais e vegetais, de formato esférico na cor amarela. Possui a função de produzir novos ribossomos, por armazenarem as proteínas ribossômicas importadas do citoplasma, que se unem ao RNA, formando as subunidades ribossômicas, exportadas para o citoplasma, e se combinam para a formação dos novos ribossomos completos. Assim, concluímos o nosso estudo básico, sobre a célula animal eucarionte. Link EduCAPES: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/918492/18/audio_educapes_2_17.mp3

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A célula animal contou com 18 símbolos táteis e dois símbolos de controle, relacionados no Quadro 15, para cada organela e estrutura animal, descrevemos as cores, as formas, em alguns casos as texturas, a sua função celular e a localização da próxima estrutura celular ou organela, utilizando a mesma técnica,

No portal da “EduCAPES”, temos os links que armazenam as audiodescrições das interfaces temáticas do MCT, célula eucarionte Vegetal: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/918478> e a célula eucarionte animal: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/918492>, Figura 130.

Na Figura 131, apresentamos a foto do professor participante, utilizando a interface experimental da célula eucarionte vegetal.

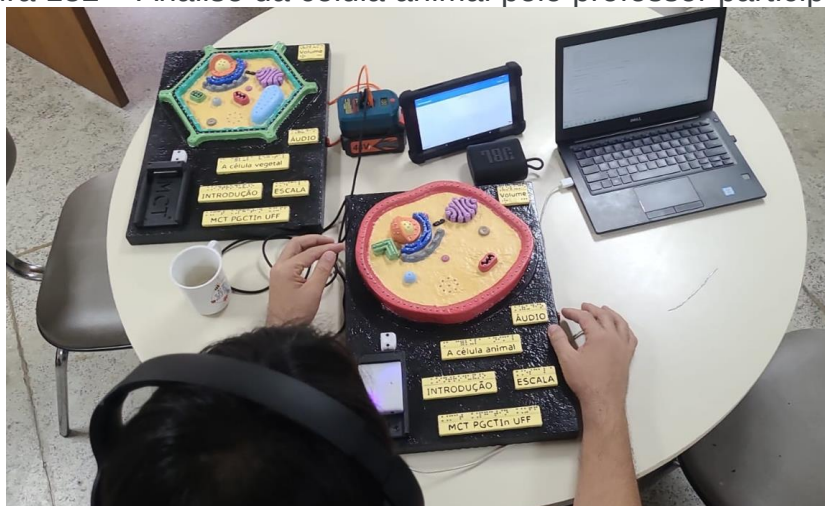
Figura 131 – Análise da célula vegetal pelo professor participante.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O professor participante utilizou o MCT na temática da célula vegetal, da mesma forma proposta ao aluno com deficiência visual e após 18 minutos e 30 segundos ocorreu o término do estudo, encaminhamos a segunda interface experimental, que foi a temática da célula eucarionte animal, conforme a foto da Figura 132.

Figura 132 – Análise da célula animal pelo professor participante.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O professor participante finalizou o estudo proposto para a interface eucarionte da célula animal em 14 minutos e 55 segundos, assim, iniciamos a entrevista de validação docente, conforme estruturado na metodologia da pesquisa.

Solicitamos ao professor participante a autorização para a gravação da entrevista de validação docente e perguntamos sobre quais foram as suas primeiras impressões ao utilizar ambas as interfaces temáticas experimentais do MCT, o docente respondeu que:

Autorizo. Com a interação, achei muito importante, inovador, principalmente porque o aluno vai poder ter, futuramente, depois de um uso inicial com o professor, essa autonomia de revisitar esse material, através de um áudio que vai direcionar ele a reconhecer todas as estruturas que estão ali. Nesse sentido, para mim, ganha na questão da autonomia, de estimular a autonomia desse estudante (Professor Participante, 2025).

No relato docente, identificamos um ponto interessante, o discente, realmente, depende que o professor ou outro profissional que tenha a função de apoiar a educação, apresente a lógica de funcionamento do MCT.

Durante a pesquisa de campo, construímos as interfaces experimentais do MCT, desde fevereiro de 2024, aplicando as oportunidades de melhoria expostas pelo docente, posição das organelas, cores, o *design* da interface.

Informamos ao docente que o seu papel principal na pesquisa foi o de contribuir na construção, na validação e na avaliação das interfaces experimentais do MCT, sendo assim, perguntamos se o material necessitaria de mais alguma evolução, e se o mesmo, atingiu o nível de maturidade para apresentarmos ao aluno com deficiência visual e se o aluno já conseguiria obter um apoio educacional na utilização desses mapas. O professor participante respondeu que:

Eu acredito que já está no nível de maturidade. Quando a gente está aqui falando de célula, a gente tem aqui as organelas dispostas nessa célula. A gente consegue perceber as relações topográficas dessas organelas. Nós temos aqui as distinções das organelas entre a célula vegetal e animal, para mim, está validado sim (Professor participante, 2025).

Assim, validamos a proposta das interfaces experimentais das células eucariontes animal e vegetal, por parte do professor participante e seguimos com a pesquisa para a validação discente.

O desenvolvimento do computador tátil demandou muito esforço do pesquisador em materializar os conceitos da modelagem computacional tátil, a fase de validação docente, **FASE_03**, foi a que demandou muito esforço, trabalho e colaboração do professor participante em investimento de tempo para a análise e para a validação dos materiais, que foram construídos, além do empenho investido pelo pesquisador em desenvolver as interfaces temáticas a serem validadas pelos participantes da pesquisa.

No próximo item, validamos as interfaces temáticas experimentais, validadas pelo docente, com os discentes que participaram da pesquisa.

6.3.2 A validação conceitual do MCT na visão discente

Iniciamos a **FASE_04** da pesquisa de campo, que validou as interfaces temáticas experimentais das células eucariontes vegetal e animal na visão do discente com deficiência visual, concluindo o terceiro objetivo específico da pesquisa.

No final da fase de validação docente, pedimos para o professor participante nos indicar os perfis de alunos com deficiência visual, que validassem as interfaces temáticas experimentais do MCT em todas as suas características e funcionalidades, em atendimento às demandas das especificidades existentes na deficiência visual.

Em atendimento a essa particularidade da pesquisa e como definido na metodologia, para essa fase da pesquisa, o professor participante nos indicou três alunos que validaram o MCT.

O aluno participante 01, tomou ciência da pesquisa, concordou com os termos, assinou o TALE e o seu responsável assinou o TCLE.

O discente, possui 17 anos, estudante do primeiro ano do ensino médio do Colégio Pedro II em Niterói–RJ, fluente em Braille, cego congênito, que foi acometido por um retinoblastoma bilateral, que é um tipo de câncer que afeta ambos os olhos, sendo mais comum na infância.

O aluno participante 01 nos relatou que perdeu a visão do olho direito com dois anos e do olho esquerdo com quatro anos, ocorrendo a cegueira após a retirada dos dois tumores.

O pesquisador iniciou os procedimentos de validação, com o aluno participante 01, por meio da apresentação da interface experimental da célula eucarionte vegetal, conforme a foto apresentada na Figura 133.

Primeiramente, apresentamos a interface experimental com o computador tátil desligado, para que o aluno realizasse um mapeamento de reconhecimento tátil da interface, mediante as orientações de utilização do MCT, passadas ao aluno pelo pesquisador.

Apresentamos, também, o computador tátil ao aluno e como ele se conecta à interface temática experimental da célula vegetal.

Figura 133 – Aluno participante 01 em validação da célula vegetal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Solicitamos que o aluno iniciasse o mapeamento tátil da interface, sempre, de baixo para cima, validando todas as molduras táteis escritas em Braille, o aluno conseguiu ler todas as molduras existentes na interface, o que validou a técnica empregada na escrita em Braille utilizada na interface.

O aluno participante 01, inclusive, relatou se lembrar do conteúdo abordado na interface da célula eucarionte vegetal e começou a tirar algumas dúvidas sobre as estruturas celulares e as organelas presentes na interface.

Após a realização do reconhecimento prévio da interface experimental da célula vegetal, a leitura e validação das molduras, a identificação das estruturas celulares e das organelas e mais o entendimento do funcionamento de como a audiodescrição é acionada por meio do tato, iniciamos o estudo da célula eucarionte vegetal por meio do MCT com o discente.

Para isso, o pesquisador ligou o computador tátil e o aluno iniciou o estudo da célula eucarionte vegetal, sendo que após 16 minutos e 21 segundos o aluno finalizou o estudo com a interface do MCT da célula vegetal.

Em seguida, orientamos o aluno a desligar o computador tátil, removê-lo da interface vegetal e conectá-lo à interface animal, e reiniciamos o protocolo de validação e de aprendizado com a célula animal, assim como feito com a célula vegetal, conforme ilustramos na Figura 134.

Figura 134 – Aluno participante 01 em validação da célula animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O aluno participante 01 iniciou o mapeamento tátil da célula animal com o computador tátil desligado e, posteriormente, iniciando o estudo com o computador tátil ligado, finalizando o estudo da célula eucarionte animal em 16 minutos e 09 segundos.

Perguntamos ao discente, o que ele mais gostou, ao utilizar as interfaces temáticas do MCT, o aluno participante 01, respondeu que:

[...] a textura que tá muito boa, eu gostei muito da textura e das descrições também, as descrições estão muito boas [...] a qualidade da escrita em Braille eu achei 10, porque está bem

perceptível [...] uma voz bem suave, tranquila [...] (Aluno participante 01, 2025).

Percebemos que as características das interfaces temáticas foram validadas pelo aluno e seguimos perguntando, o que você achou que não foi muito bem? O aluno respondeu:

[...] isso eu ainda não tenho certeza. Até agora, eu não achei nada que não foi legal pra mim, por enquanto, está tudo bom [...] (Aluno participante 01, 2025).

O discente ficou alguns minutos pensando no que iria responder e, no final, afirmou que tudo estava muito bom, insistimos perguntando, quais seriam as melhorias que você faria nesse mapa que facilitaria o seu entendimento sobre a matéria apresentada? O aluno respondeu que:

O conteúdo está bem descrito. Eu achei muito bem descrito e explica de uma maneira rápida e sucinta. Então é simples de entender. Acho que é só uma coisinha que poderia colocar, uma função de mudança de velocidade da voz, só isso, porque às vezes pode ter algo com uma explicação um pouco maior, aí pra gente que já está mais acostumado, porque quem não está acostumado pode deixar até mais devagar. Aí pra quem já está acostumado, com vozes mais rápidas, pode acelerar, pra a leitura ser mais rápida e o estudo ser mais dinâmico (Aluno participante 01, 2025).

A aluno participante 01, apontou o controle da velocidade da voz como uma oportunidade de melhoria, assim como, na pesquisa de mestrado de Silva Junior (2018), explicamos que ele não tinha sido o primeiro a falar sobre essa funcionalidade e que, no momento, não seria possível implementar essa função ao MCT devido às limitações do *hardware* que, infelizmente, não suportaria essa configuração.

Perguntamos ao aluno participante 01 se ele achava que esse mapa tátil ajudaria aos seus colegas a compreenderem melhor a essa matéria e ele respondeu que:

Sim. Levando em conta as pessoas que não enxergam, certo? Essas pessoas podem ter dificuldade para entender a matéria por ter que relacionar algo de imagem que a professora, às vezes, pode tentar explicar ou descrever com a descrição do que essas partes fazem. E esse mapa vai dar uma referência física para a gente ter uma ideia de como mais ou menos é. E ele vai

dar a descrição ao mesmo tempo e também tem a informação de tamanho da célula. A escala, ali você consegue ter uma dimensão de tudo aquilo que você está estudando (Aluno participante 01, 2025).

O aluno participante 01 entendeu a proposta do MCT, estudou o conteúdo proposto pelas interfaces temáticas das células eucariontes vegetal e animal e validou as provas de conceito, conforme descrito na metodologia da pesquisa.

Seguimos com a pesquisa de campo, conhecendo o aluno participante 02, que possui 17 anos, estudante do segundo ano do ensino médio no Colégio Pedro II em Niterói-RJ, fluente no Braille, cego adquirido.

O aluno nos relatou que perdeu a visão a partir dos cinco anos e meio de idade, em decorrência da carência extrema de vitamina A, xeroftalmia, devido a diversos quadros alérgicos que o obrigou a seguir uma dieta bem restritiva, afetando na absorção de várias vitaminas essenciais à sua saúde, o que prejudicou a boa formação dos olhos, resultando na deficiência visual, além de outros fatores que não nos soube explicar bem e em mais detalhes.

Iniciamos o procedimento de validação com o aluno participante 02, que se utilizou da mesma dinâmica realizada pelo primeiro participante, assim como, ilustramos na foto da Figura 135.

Figura 135 – Aluno participante 02 em validação da célula vegetal.



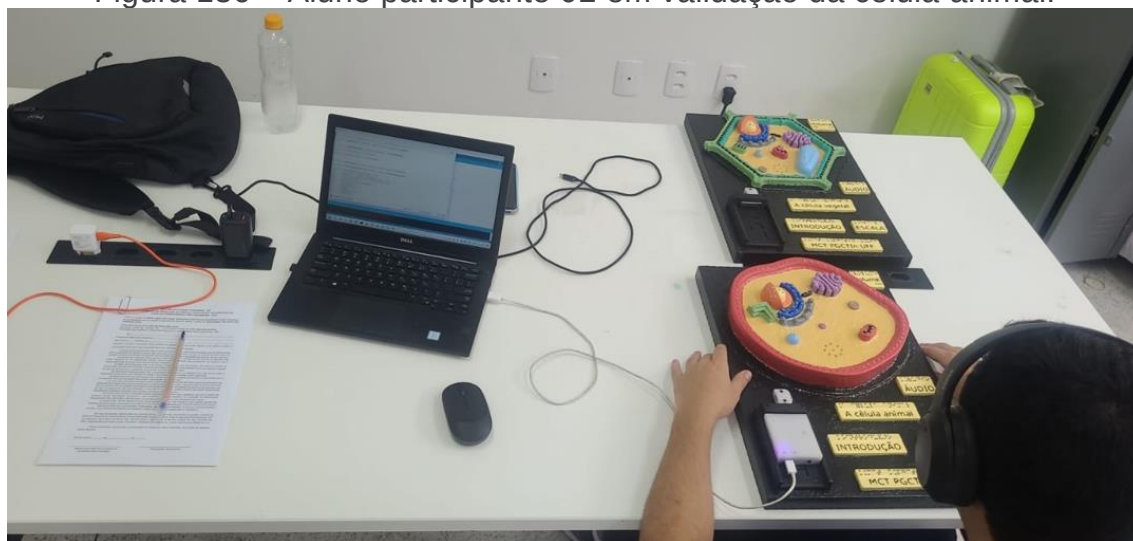
Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O aluno participante 02 iniciou e terminou os estudos da célula vegetal, que durou 22 minutos e 02 segundos.

O próximo passo se deu início com os estudos da interface experimental da célula eucarionte animal, assim como realizado com a célula vegetal, o aluno participante 02 iniciou e terminou os estudos dessa interface em 15 minutos e 48 segundos.

Apresentamos na Figura 136 a forma na qual o discente interagiu com a célula eucarionte animal.

Figura 136 – Aluno participante 02 em validação da célula animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Ao finalizar os estudos de validação das interfaces temáticas do MCT, perguntamos ao aluno participante 02 o que ele havia achado do MCT, respondendo que:

Eu achei muito bom. Vai ajudar nessa matéria e nas outras, principalmente biologia. Não é mais só célula, tem o corpo todo praticamente (Aluno participante 02, 2025).

O discente expressou o entendimento de que o MCT possui um grande potencial de atender aos mais variados temas do conhecimento, perguntamos sobre o que ele havia mais gostado no MCT, respondeu que:

Dos sensores ali, que eles, quando você passa o dedo assim, eles já... do sensor ligado aos áudios, que na hora que você identifica ali, a organela, ele já te dá toda a explicação sobre aquela organela pelo áudio com o toque no sensor (Aluno participante 02, 2025).

O aluno apresentou algumas das características e das funcionalidades de como o MCT aumenta a qualidade nos estudos e o entendimento dos conteúdos, principalmente, em benefício dos alunos cegos em unir a audição ao tato, simultaneamente, aos conteúdos acadêmicos.

Seguimos com a entrevista e perguntamos ao discente, o que ele acha que poderíamos melhorar no MCT e ele respondeu que:

Não sei. É porque está tudo bem certo. A referência não é mais o problema, porque é a referência do mapa. E ele fala tudo certinho, coordenado está perfeito para mim (Aluno participante 02, 2025).

O discente destacou a forma em que o estudo foi conduzido por meio do MCT, permitindo ao aluno iniciar e terminar os seus estudos da forma mais autônoma possível.

Por fim, perguntamos se esse mapa tátil ajudaria aos seus colegas a compreenderem melhor a essa matéria, o aluno respondeu que:

Ajuda porque no caso da baixa visão o mapa é feito em uma escala maior e na realidade a célula é muito pequena, não tem como você ter uma noção melhor. Isso aqui, desse tamanho vai ajudar bastante e na questão das pessoas cegas que já não têm a oportunidade ou tentativa de tentar compreender o tamanho na escala menor, vai ajudar porque eles já não têm essa noção e eles praticamente só gravam as coisas e quando gravam, é muito difícil gravar tudo isso (Aluno participante 02, 2025).

O aluno explicou que as células eucariontes já são muito pequenas e as pessoas de baixa visão teriam muito mais facilidade de compreender as suas estruturas por meio desses modelos.

Já no caso das pessoas cegas a dificuldade é ainda maior, mas essas interfaces táteis contribuem em muito no entendimento desse volume de informações, sempre associando o conteúdo aos símbolos táteis de forma mais contextualizada, assim, contribuindo para que a pessoa cega construa as suas próprias imagens mentais sobre a temática.

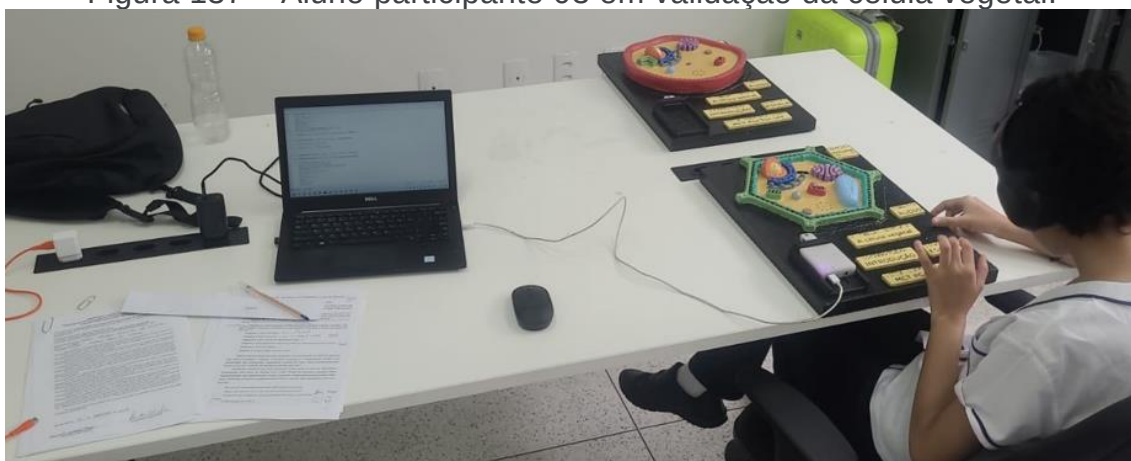
Assim, o aluno participante 02 concluiu o estudo das interfaces, validando a proposta do MCT, sem apresentar nenhuma oportunidade de melhorias.

Por fim, apresentamos o perfil do aluno participante 03, que possui 15 anos, cursa o primeiro ano do ensino médio no Colégio Pedro II em Niterói-RJ,

possui uma baixa visão congênita moderada com a melhor correção óptica, não lê em Braille, lê na escrita em tinta com um conforto visual a partir da fonte de tamanho 26 e relatou que a causa da sua deficiência foi proveniente da catarata, do glaucoma, da microftalmia e do astigmatismo.

Assim como todos os outros alunos participantes, o aluno participante 03, iniciou os procedimentos de validação a partir dos estudos da célula vegetal, conforme ilustramos na Figura 137.

Figura 137 – Aluno participante 03 em validação da célula vegetal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Conforme a metodologia da pesquisa, o aluno participante 03, iniciou e terminou o estudo da célula eucarionte vegetal em 16 minutos e 48 segundos.

Assim, o aluno participante 03, iniciou os estudos com a célula eucarionte animal, conforme ilustramos na foto da Figura 138.

Figura 138 – Aluno participante 03 em validação da célula animal.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

O aluno participante 03, iniciou e terminou o estudo da célula eucarionte animal em 20 minutos e 06 segundos.

Após os estudos de validação das interfaces temáticas do MCT, perguntamos ao aluno participante 03, qual seria a opinião dele sobre a proposta do MCT, o aluno respondeu que:

O mapa foi muito bem pensado, vocês trataram tudo com muito cuidado, porque isso poderia dar várias matérias, que eu estou percebendo nas dificuldades, não só em mim, mas em outras pessoas com deficiência de serem ensinados como gráficos, desenho, é... Química, física, biologia, matemática, sabe, e poderia trazer uma percepção maior sem ter que ser usado um exemplo de Quadro o tempo todo (Aluno participante 03, 2025).

O aluno participante 03 relatou que o mapa foi bem construído e que abordaria a diversos conteúdos, contribuindo com o aprendizado das pessoas com deficiência visual, inclusive apontou algumas das dificuldades que as pessoas cegas enfrentam ao terem que compreender conteúdos, como por exemplo, que são representados por meio de gráficos e desenhos, ainda criticou, que essa estratégia proporcionaria mais qualidade do que, somente, o uso do recurso do quadro, o que é muito comum, em sala de aula.

Perguntamos ao aluno participante 03, sobre o que ele mais gostou na proposta, respondendo que:

A coisa do áudio, eu achei muito maneiro, o áudio e a maquete, a interação do áudio com o conteúdo e o tato isso é inovador, sabe você juntar o áudio e o tato e mais o conteúdo [...] Nossa, eu achei muito legal! Eu achei que facilita muito, sabe, facilita (Aluno participante 03, 2025).

O discente elogiou a questão da união dos sentidos do tato e da audição, simultaneamente, aos conteúdos acadêmicos, considerando uma inovação.

Perguntamos sobre o que poderíamos melhorar na proposta do MCT, o aluno respondeu que:

Alguns tipos, aquele que você falou que tinha umas bolinhas em volta, eu não entendi como seria, entendeu? Eu pensei, ah tá, mas é um protótipo então, entendo que na fase final vai ficar mais preciso e tal (Aluno participante 03, 2025).

O aluno participante 03 foi bem mais detalhista que os outros dois participantes, percebendo detalhes não comentado pelos demais, tanto que, relatou que não entendeu o formato e a textura de algumas das organelas que foram dispostas nas interfaces das células eucariontes, como por exemplo, a do “lisossomo” da célula animal, que possui diversas bolinhas ao redor de outra bola, Quadro 13.

Explicamos para o discente que ao construir as interfaces temáticas do MCT, buscamos modelar em 3D os formatos e as texturas das estruturas celulares e das organelas, de forma que, apresentassem o *design* mais próximo da realidade. Após a explicação o aluno entendeu dizendo:

Ah, entendi, então ela é confusa mesmo, cheia de bolinhas [...]. Ah! Entendi, achei legal então [...], Só acho legal que desse para botar uma voz humana [...] a voz é de inteligência artificial, então sabe[...] (Aluno participante 03, 2025).

O pesquisador esclareceu ao aluno participante 03 que não seria uma boa prática, pois ao utilizarmos a voz humana, as pessoas ao falarem sobre o conteúdo, ocorreriam entonações, vícios de fala, alternância de volume e outras características que podem, muito mais, prejudicar do que facilitar o entendimento das pessoas com deficiência visual, assim, perguntamos a opinião do aluno, que respondeu concordando:

Alguém pronuncia de um jeito, outra pessoa pronuncia de outro, então é muito assim [...] assim tem um padrão né [...]. Bota uma voz mais grave então, porque esse agudo às vezes acaba incomodando o ouvido (Aluno participante 03, 2025).

Para validar a questão, respondemos ao discente, que foi bem mais exigente que os demais, que o MCT aceita receber qualquer tonalidade de voz, mais grave ou aguda, masculina ou feminina, pois, na verdade, o que é armazenado e reproduzido pelo MCT, são arquivos de áudio, que foram gerados a partir de um texto, que o professor escreve sobre os conteúdos lidos pela inteligência artificial em sites que realizam esse tipo de serviço pela Internet.

Por fim, perguntamos se o MCT conseguiria atender às pessoas com deficiência visual na compreensão dos conteúdos lecionados em sala de aula, o discente respondeu que:

Sim [...] Nossa, é muito legal! Isso é muito importante porque é um mapa que é adaptável e pode engrandecer ainda mais o conteúdo (Aluno participante 03, 2025).

O discente comentou sobre a possibilidade do MCT em gerenciar o conteúdo local e inclusive, pela Internet, sendo um recurso adaptável e que abordamos a diversas áreas do conhecimento.

Com a apresentação dos resultados, concluímos que os três alunos participantes da pesquisa validaram o MCT como uma tecnologia assistiva que apoia o ensino e a aprendizagem dos discentes com deficiência visual em seus estudos.

Um ponto importante nesse processo de validação foi que na pesquisa em campo de mestrado, conduzida por Silva Junior (2018), os alunos enfrentaram algumas dificuldades com o Mapa desenvolvido como produto da pesquisa, pois a reprodução das audiodescrições, imediatamente, após detectar o toque do aluno no sensor tátil, ocasionava erros no acionamento, uma vez que, os alunos, principalmente os cegos, esperavam ouvir uma audiodescrição específica e acabavam recebendo informações relacionadas a outro conteúdo, devido à ativação involuntária dos sensores táteis.

Para resolver esse problema, desenvolvemos nas interfaces do MCT a possibilidade de permitir ao aluno, tatear todos os símbolos táteis da interface sem a reprodução dos áudios, criamos o conceito de comando para a autorização da reprodução das audiodescrições, conforme apresentado na Figura 139.

Figura 139 – Autorização de reprodução das audiodescrições no MCT.



Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

Criamos duas versões de autorização para a validação em campo do MCT, a primeira, o usuário acionava o sensor tátil instalado na escrita em Braille da moldura “Áudio” na interface do MCT e selecionava o símbolo tátil desejado.

A segunda forma de autorização do áudio foi configurada para manter o botão de áudio pressionado e selecionar com o tato o símbolo tátil desejado.

Todos os alunos participantes preferiram utilizar a configuração do botão físico, alegando que assim, o acionamento da reprodução das audiodescrição seria mais fácil e de acionamento mais intuitivo.

Os alunos participantes acharam importante a segunda função do botão físico que permite “parar” a reprodução da audiodescrição ao ser pressionado por 5 vezes, que seria utilizada em caso de acionamentos involuntários, tornando o estudo muito mais eficiente.

Com o MCT e suas duas interfaces temáticas experimentais validadas pelo professor participante e pelos três alunos com deficiência visual, participantes da pesquisa, consideraremos as interfaces não mais como experimentais e sim como interfaces temáticas do MCT.

No próximo item, as interfaces foram avaliadas pelos participantes da pesquisa e apresentamos os resultados que apontaram os limites e as possibilidades dessa tecnologia assistiva em apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

6.4 Os limites e as possibilidades do MCT

Até esta fase da pesquisa, as interfaces temáticas eram experimentais, após serem validadas pelos participantes da pesquisa de campo, passaram a serem as interfaces temáticas do MCT, assim, concluímos a metodologia, baseada na teoria de Pressman (2011), a construção de sistemas por meio da prototipagem evolutiva.

Iniciamos a avaliação das interfaces temáticas do MCT, na **FASE_05** da pesquisa de campo, que avaliou as interfaces na visão do docente participante e na **FASE_06** da pesquisa de campo, que avaliou as interfaces temáticas do MCT na visão dos alunos com deficiência visual participantes da pesquisa.

Nessas duas fases, avaliamos quais foram os limites e as possibilidades do MCT em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

6.4.1 A avaliação conceitual do MCT na visão docente

Iniciamos a **FASE_05** da pesquisa de campo, que avaliou as interfaces temáticas do MCT das células eucariontes vegetal e animal na visão do docente, finalizando, parcialmente, o quarto objetivo específico da pesquisa.

Esta fase da pesquisa dependeu que as interfaces temáticas experimentais do MCT fossem validadas, procedimento que ocorreu na **FASE_04** da pesquisa de campo.

Assim, com as interfaces temáticas validadas iniciamos o processo de avaliação das interfaces temáticas do MCT, seguindo a metodologia da pesquisa para definir quais seriam os limites e as possibilidades entregues pelo MCT na visão docente.

O docente participante e voluntário ficou ciente dos termos e com o registro dessa pesquisa por meio da assinatura do TCLE, desde o processo de validação, concordando em contribuir conosco, também, no processo de avaliação do MCT.

O professor participante nos informou que atua na educação básica a 19 anos e na educação especial na deficiência visual a 7 anos comprovando uma experiência considerável em atuar neste segmento educacional bem específico.

Perguntamos ao docente, sobre quais seriam as estratégias pedagógicas mais empregadas, em suas práticas, e as dificuldades encontradas para o desenvolvimento de um processo de ensino e aprendizagem eficiente direcionados aos alunos com deficiência visual, respondendo que:

Produzo modelos táteis e audiogravações. Quanto às dificuldades, especialmente, o tempo para a produção destes materiais e que existem muitas defasagens de conteúdo que precisam ser revistos e o tempo é curto (Professor participante, 2025).

O docente nos relata o seu empenho em produzir as próprias tecnologias assistivas em atendimento ao público educacional com deficiência visual e o fator tempo sendo impactante, muito provavelmente, pela carga de trabalho extra classe demanda para a elaboração desses materiais e, também, a questão de todo o trabalho que envolve a atualização desses conteúdos.

A proposta do MCT explora muito essa questão em suas características e em suas funcionalidades pelo fato de o professor receber uma tecnologia assistiva pronta, testada e evoluída, cientificamente, o que ajuda em sua prática no sentido de entrega dos requisitos para a construção das interfaces de forma muito mais eficiente no sentido de melhor atender aos alunos em suas especificidades.

O MCT permite, ainda, a atualização dos conteúdos em suas interfaces de forma muito mais fácil e prática, além de o docente ter a funcionalidade de atualizar diversas unidades de mapas táteis de uma só vez, por meio da Internet no repositório on-line, cujas interfaces realizam um acesso pelos conteúdos de forma centralizada, assim como, diversos usuários acessam as plataformas projetadas para a educação à distância.

A falta de tempo e a defasagem dos conteúdos, em sua grande maioria, sobrecarregam o docente, que perderá muita energia para testar as possibilidades (o que funciona ou não funciona, na tentativa e erro), enquanto a ciência, deveria prover as soluções e o docente teria o papel de aplicá-las e não de desenvolvê-las em primeiro nível e numa ação mais solitária.

Perguntamos sobre as suas impressões em utilizar o MCT e o docente nos respondeu que:

[...] para disciplinas como Biologia e Geografia é essencial e não só aqui (no ensino médio), porque esses alunos cegos estão chegando nas universidades e, por exemplo, essas matérias mais visuais, isso vai ser super importante para esses estudantes [...] (Professor participante, 2025).

Além do que disse acima, o docente enumerou no processo de validação, na página 266, a questão da autonomia discente, que seriam estimuladas com o MCT e quais seriam as potencialidades do MCT em ser uma tecnologia assistiva adaptável muito em função da possibilidade de gerenciar diversas interfaces temáticas em amplas áreas do conhecimento e não somente no ensino médio, mas em todos os segmentos da educação.

O MCT possui a pretensão de atender às características de *design* universal, assim como, dito pelo docente em sua fala:

Então, na verdade, assim, eu vejo essa utilidade, até design universal, porque não só aluno cego pode usar, mas outros estudantes também, eu vejo a possibilidade dele ser aplicado no atendimento educacional especializado [...] nos setores de inclusão, que ocorrem no atendimento educacional, nas salas de multirecursos. Porque, antes, poderia, nesses momentos de atendimento educacional, é aquele momento em que o docente vai dar uma aula complementar a esse aluno e que precisa ser diferente da aula expositiva que ele dá na sala de aula. Então, o estudante teria esse primeiro momento de interagir com esse recurso, de forma mais proximal (Professor participante, 2025).

Nesse relato, o professor destacou a aplicabilidade do recurso para diferentes públicos e contextos educacionais, quando aponta o potencial do MCT em atender a outros educandos com ou sem deficiências, sendo uma TA empregada nas salas de recursos e que o aluno necessita ter um suporte do docente para adquirir o domínio das funcionalidades entregues pelo MCT no processo de aprendizagem desse próprio educando, além da produção em larga escala, nos explicou como seria essa dinâmica, ao relatar que:

[...] com o professor e tendo ali esse recurso como mediador da transmissão do conhecimento nesse espaço. Então seria um primeiro momento, se a gente quer, você falou de produção em escala, de primeiro conquistar esses espaços que são as salas multirecursos, tendo essa interação com o professor de forma inicial e esse material estando na sala de multirecursos, esse aluno pode voltar a essa sala, independente do professor, num horário apropriado para ele, para revisitar de forma autônoma. Agora, para uma produção depois de ganhar as salas de aula, de se capilarizar para a sala de aula, se você já tem esse recurso lá na sala multirecursos e em quantidades que vão ser variáveis de acordo de escola para escola, porque depende do número de... ou da previsibilidade de números que chegam ali de aluno de cegos, isso também é viável com o tempo (Professor participante, 2025).

Pelo docente as possibilidades são reais e na proporção das demandas por esses recursos, além de ter explicado que o aluno desenvolve a sua autonomia ao estudar as interfaces temáticas que desejar, assim como, fazemos ao lermos um livro, de um determinado assunto, em uma biblioteca.

O potencial característico do MCT com esse formato das interfaces temáticas que seriam criadas pelos próprios docentes, foi identificado ao dizer que:

[...] é como se fosse criado aqui, uma arquitetura que pode ser modificável, conforme a adequação do professor necessidade do professor. Então o recurso aqui tem duas instâncias, essa instância mais física, onde você vai interagir, porque já foi montado aqui uma intencionalidade em termos de conteúdo para se aprender, mas você tem essa questão aqui do computacional que você pode modificar, não a estrutura da programação, mas as informações... alterar as interfaces, nesse caso, pra adaptar o conteúdo que se quer explicar.

O professor participante entendeu que o MCT pode além de gerenciar diversas interfaces temáticas com o que foi programado no computador tátil, pois a programação do computador não se altera, o que se altera são as interfaces conectadas ao computador e a sua análise foi mais além, quando percebeu que ainda é possível trabalhar uma mesma temática em diversos níveis de dificuldade, por exemplo, na célula vegetal pode-se trabalhar um conteúdo mais básico como nomes das estruturas e organelas, funções básicas e criar outra versão de conteúdo que descreva e explique as funções bioquímicas mais específicas depois que o aluno conseguiu compreender e dominar o conteúdo mais básico.

Perguntamos ao docente o que o MCT agrega ao aluno com relação aos recursos mais tecnológicos frente ao que já temos de normal, ele respondeu que:

Primeiro introduz ele na questão da tecnologia, eu acho que isso é importante, ele pode ter acesso aqui através desses recursos, tanto a internet quanto ao próprio sistema, sem ser internet, eu acho que essa interação dele ter esse contato com um recurso que usa a tecnologia, é também introduzir ele (o aluno) nas tecnologias, isso é importante (Professor participante, 2025).

O docente aponta o MCT como uma importante proposta tecnológica para o processo inclusivo, por ser um recurso que insere esse perfil de aluno no campo tecnológico, oportunizando avanços não somente para o aluno, mas para a comunidade acadêmica que é possível investir em tecnologias em atendimento às necessidades específicas desse público alvo.

Vivemos uma pandemia em nossa geração (2020 - 2023) e o mundo mudou em diversos aspectos e na educação não foi diferente, perguntamos ao docente no que o MCT contribuiria em tempos pandêmicos para o ensino das pessoas com deficiência visual, o professor participante respondeu que:

O estudante cego precisa de uma interação tátil para aprender os conteúdos. Então ele precisa gerar uma percepção tátil, principalmente quando a gente tem essas disciplinas que são imagéticas, que usam muita imagem. Então esse recurso poderia estar disponível nas escolas, sendo encaminhado para a casa desses estudantes. Esses estudantes receberiam esses recursos... As interfaces, né? A parte física do recurso e com esses programas já instalados, eles poderiam ter essa orientação através do áudio que está na programação e com isso ele teria uma autonomia ou até com a interação com o professor de forma online nas vídeo chamadas, vamos dizer, nas videoconferência, à medida que o professor fosse falando ele ia tateando nesse recurso, ouvindo como uma aula expositiva com a sua ação, a sua atividade na interação desse recurso. Então a potencialidade para atender os alunos cegos numa situação de pandemia em que ele não pode ter acesso à escola ou até numa situação em que existe ali um regime especial de aprendizagem, esse aluno se encontra impossibilitado por algum motivo, doença, de ir à escola. Ele pode ter esse recurso na sua própria casa, então aí amplia a potencialidade desse recurso de atender este estudante na sua residência [...] do EaD também. Essa questão do EaD que pode se entregar esse recurso através dos correios, por exemplo, chega na casa desse estudante e ele interage com esse material distante do polo, enfim, da universidade (Professor participante, 2025).

Neste relato docente, percebemos que, principalmente, o aluno cego seria bem assistido pelo MCT na impossibilidade, não somente, em tempos pandêmicos, mas o professor, bem descreveu, até em outros casos que possam ser mais comuns, como a necessidade de um regime especial de aprendizagem, em que o educando necessite ausentar-se do ambiente escolar por motivo de força maior, mesmo assim, o MCT teria a potencialidade de atender as necessidades desse educando em diversos pontos acadêmicos, inclusive, no desenvolvimento de sua autonomia, no sentido de permitir a condução dos seus estudos com o potencial de ser um recurso computacional tátil educacional e funcional também à distância.

Ao docente, perguntamos qual seria a importância do mapa tátil para o aprendizado das pessoas com deficiência visual e respondeu que:

Os recursos táteis viabilizam a apreensão dos conteúdos pela via perceptual háptico-cinestésica, ou seja, com a exploração tátil dos recursos, de forma, sistematicamente, orientada, o estudante é capaz de apreender o conteúdo científico numa maneira que atenda a suas singularidades em termos de necessidade específica (Professor participante, 2025).

Concluimos que, principalmente, para as pessoas cegas, os mapas táteis são recursos de TA que entregam bons resultados por unirem o sentido do tato aos conteúdos acadêmicos. O MCT elevou esse nível de neuroplasticidade, quando acrescentou a audição a esta equação de soma.

O professor explica essa equação quando diz que:

A construção de recursos didáticos num contexto de multissensorialidade é especialmente importante para o educando cego, pois permite a apresentação do conteúdo de modo a estimular diversos órgãos sensoriais e, se sistematicamente organizado com propósitos de comunicar informações para se atingir metas de aprendizagens, o estudante pode processar essas múltiplas mensagens veiculadas por sensorialidades distintas de forma a fazer sentido quando integradas no processamento perceptual das mesmas. Ou seja, o desafio está em transformar informações essencialmente imagéticas em outras formas sensoriais no processo de apresentação dos conteúdos. Obviamente, não se trata apenas de cheirar, ouvir, ou tatear, mas a organização desta apresentação deve ser encadeada a ponto de se relacionar com a apreensão de um conhecimento, como, por exemplo, aquecer em uma das extremidades, duas barras constituídas de metais diferentes (alumínio e ferro), sendo que ao longo desta barra existem presas por parafina, bolas de aço espaçada regularmente e de forma igual nas duas barras. À medida que o calor se propaga nas barras, a parafina derrete e as bolas se desprendem. Se tiver uma chapa de latão entre as barras e o chão, as bolas vão fazer barulhos ao cair. Com isso dá para perceber a condução do calor pelos metais e também que a velocidade desta propagação depende do tipo de metal que constitui a barra. Então, a exploração do tato e da audição são utilizadas neste caso para perceber que as bolas de aço estão espaçadas e que há uma distância de propagação e, por fim, com o aquecimento, o tempo de desprendimento das bolas pelo derretimento da parafina é secundário a velocidade da propagação do calor que depende do tipo de metal que constitui a barra (Professor participante, 2025).

O docente explica que a pessoa cega necessita estimular os seus sentidos, num esforço para a compreensão, por meio da geração de imagens mentais dos conteúdos estudados, de forma, a compreendê-lo com mais facilidade, isso associados a outros fatores que devem ser testados, assim, como a proposta entregue pelo MCT, que possui em seu modelo conceitual as matrizes conceituais que entregam requisitos que servem de parâmetro para a construção de interfaces temáticas que entregam funcionalidades e características amplamente testadas cientificamente por meio das pesquisas realizadas em

campo reduzindo o tempo de desenvolvimento, aumentando a eficiência e a eficácia desses recursos.

Perguntamos, quais seriam os atributos entregues pelo MCT que contribuiriam no ensino desses educandos, o docente respondeu que:

Recurso com potencial acessível para comunicação de conhecimento científico ao estudante cego (expandindo-se também para ouvintes videntes); potencial de reprodução em termos técnico-metodológico para outros assuntos, ou seja, a tecnologia de acoplamento sensorial tátil-auditivo pode ser utilizada para outros temas; estímulo a autonomia do estudante (o recurso pode ficar depositado em uma biblioteca ou outro repositório e servir para estudantes cegos consultar a título de revisão) (professor participante, 2025).

O docente aponta o MCT como um recurso que estimula os sentidos do tato e da audição, simultaneamente, ligados aos conteúdos acadêmicos com atributos interdisciplinares, que estimula a autonomia do educando com deficiência visual ou não, aplicando um conceito de *design* universal.

Assim como, ao utilizar o MCT, em conjunto com as interfaces celulares eucariontes, o docente apontou que o MCT entregou:

Principalmente o potencial de comunicar o conhecimento científico inerente a função das organelas e o reconhecimento de suas morfologias, para o estudante cego (Professor participante, 2025).

O professor participante acredita que o MCT cumpriu a sua função de permitir ao discente com deficiência visual, um estudo de qualidade e autônomo, sobre as células eucariontes vegetal e animal.

Perguntamos sobre quais seriam as oportunidades de melhorias que seriam empregadas, no sentido de que melhore a usabilidade ou a experiência do discente em relação à utilização deste mapa tátil nos estudos da temática proposta, o docente respondeu que:

Creio que se deva ter um treinamento com o docente perspectivando a possibilidade de alterar o áudio. Isso possibilitaria adequar o material a diferentes contextos de aprendizagens. Ou seja, se em aula, o docente produziria áudios curtos, se projetados para serem utilizados em biblioteca ou em espaço que forneça tempo maior de interação, o estudante

poderia se expor a um áudio mais, teoricamente, aprofundado que inter-relacione as organelas ou faça diálogos com outros recursos, como livros, etc. Assim, o professor poderia produzir áudios para diferentes situações (Professor participante, 2025).

O professor participante, apontou uma situação em que a pesquisa não permitiu, que foi a de apresentar, em mais detalhes, como o docente modificaria e criaria novos conteúdos sobre as interfaces temáticas, utilizadas pelo MCT, o que é muito possível de ser realizado, desde que se planeje um curso para esta finalidade.

Para o processo de avaliação do MCT selecionamos algumas das mais importantes funcionalidades e características da tecnologia proposta e solicitamos ao professor participante a atribuição de um conjunto de notas, numa escala de 0 até 10, em que a nota zero representou a opinião de que foi ruim, não atendeu e a nota 10 fosse um nível de satisfação total e de atendimento pleno.

No Quadro 16, apresentamos as notas atribuídas pelo professor participante da pesquisa em campo sobre as funcionalidades do MCT.

Quadro 16 – A avaliação docente das funcionalidades do MCT.

Item	Funcionalidades do MCT	Nota
01	A estrutura na qual o MCT organiza o conteúdo do tema de forma eficiente.	10
02	A facilidade do estudante em dominar o tema proposto com o MCT.	10
03	A tecnologia empregada no MCT em unir o tato e a audição aos conteúdos do tema de forma simultânea.	10
04	O potencial do MCT em ser uma promissora tecnologia assistiva educacional.	10
05	A capacidade do MCT em estimular o aprendizado do aluno.	10
06	O nível de usabilidade do MCT.	8
07	A utilização do MCT como uma proposta pedagógica inovadora.	10
08	A utilização do MCT frente aos outros métodos tradicionais já utilizados.	10
09	A capacidade do MCT em aumentar a qualidade e a autonomia do aluno em seu processo de ensino e aprendizagem.	10
10	Se o MCT estivesse disponível como uma tecnologia educacional, qual seria o seu nível de motivação em utilizá-lo com os seus alunos?	10
11	O quanto o MCT pode facilitar o trabalho do docente e facilitar os estudos do discente no processo de ensino e aprendizagem.	10

12	O MCT e o seu potencial em promover o ensino EaD de maior qualidade, minimizando as barreiras em tempos de pandemia.	10

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

As funcionalidades do MCT foram definidas em relação às potencialidades do sistema em apoiar os discentes com deficiência visual em seus estudos com a maior autonomia e qualidade possível, além de sua utilização como uma TA eficiente, também, no sentido de tornar a prática docente uma tarefa mais fácil e permitir ao professor a escolha de utilizar os recursos mais apropriados em sua abordagem no ambiente educacional.

Analisando as pontuações atribuídas, concluímos que, na visão do docente, dos 12 itens selecionados, temos 120 pontos possíveis e o MCT obteve 118 pontos, representando um percentual de **98,33% de aprovação** em suas funcionalidades.

No Quadro 17, apresentamos as notas atribuídas pelo professor participante da pesquisa em campo sobre as características do MCT.

Quadro 17 – A avaliação docente das características do MCT.

Item	Características do MCT	Nota
01	O acabamento das formas empregadas na interface do MCT.	10
02	As tonalidades das cores empregadas na interface do MCT.	10
03	A segurança e o conforto em utilizar o MCT como TA educacional.	10
04	A qualidade das texturas empregadas na interface do MCT.	10
05	A qualidade da escrita em Braille utilizada na interface do MCT.	10
06	A qualidade da escrita em tinta utilizada na interface do MCT.	10
07	A qualidade da voz configurada no MCT.	10
08	A qualidade dos símbolos táteis desenvolvidos na interface do MCT.	10
09	A forma de utilizar o MCT nos estudos de um determinado conteúdo.	10
10	A forma de conectar o MCT à Internet.	10
11	A forma de conectar o MCT em cada uma de suas interfaces temáticas.	10
12	A estruturação e apresentação da página web de configuração do MCT.	10
13	O conjunto de tecnologias computacionais e pedagógicas empregados no MCT.	10

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

As características representam os requisitos selecionados sobre o *design* das interfaces temáticas gerenciadas pelo MCT e alguns dos recursos computacionais empregados na tecnologia.

Aplicando a mesma lógica de análise dos conceitos atribuídos pelo docente, concluímos que o MCT foi avaliado do em **100% de aprovação** em suas características.

Compreendemos que o MCT não foi desenvolvido para substituir à prática docente, muito pelo contrário, acreditamos que toda tecnologia educacional desenvolvida deve ser empregada como recursos que auxiliem aos discentes em seus estudos, independentemente de suas barreiras e permita ao docente escolher os melhores recursos que tornem a sua prática docente muito mais eficiente.

No próximo item, avaliamos o MCT na visão discente em vias de finalizar o quarto objetivo específico da pesquisa que envolve o MCT.

6.4.2 A avaliação conceitual do MCT na visão discente

Iniciamos a **FASE_06** da pesquisa de campo, que avaliou as interfaces temáticas do MCT das células eucariontes vegetal e animal na visão do discente com deficiência visual, concluindo a pesquisa de campo com o término do quarto objetivo específico da pesquisa.

Esta fase da pesquisa, assim como a **FASE_05**, dependeu que as interfaces temáticas experimentais do MCT fossem validadas, procedimento que ocorreu na **FASE_04** da pesquisa de campo.

Assim, com as interfaces temáticas validadas, iniciamos o processo de avaliação das interfaces temáticas do MCT, seguindo a metodologia da pesquisa, para definir quais seriam os limites e as possibilidades entregues pelo MCT na visão discente.

Os três discentes participantes e voluntários ficaram cientes dos termos e com o registro dessa pesquisa, por meio da assinatura do TALE, os seus respectivos responsáveis assinaram o TCLE, desde o processo de validação, concordando em contribuir conosco, também, no processo de avaliação do MCT.

Na entrevista foi explicado o funcionamento do MCT ao discente que foi convidado a estudar a temática proposta e o pesquisador iniciou uma

observação não participante, registrando o tempo em que o aluno demorou para iniciar e concluir o estudo da temática proposta pelo MCT.

No Quadro 18, apresentamos o tempo de estudo realizado pelos alunos participantes da pesquisa em campo com as interfaces temáticas das células eucariontes vegetal animal do MCT.

Quadro 18 – O tempo de estudo e erros nas interfaces do MCT.

Aluno Participante	Inicialização MCT	Célula Vegetal	Erros	Célula Animal	Erros	Total Tempo	Total Erros
01	31 segundos	16m21s	0	16m09s	1	32m30s	1
02	31 segundos	22m02s	3	15m48s	0	37m50s	3
03	31 segundos	16m48s	0	20m06s	1	36m54s	1

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

A interface temática da célula eucarionte vegetal possui 19 símbolos táteis, Quadro 14, ao longo do seu estudo, enquanto a célula eucarionte animal possui 18 símbolos táteis, Quadro 15.

A célula vegetal demanda de um pouco mais de tempo de estudo do que a célula animal por possui mais símbolos táteis, mas a diferença seria de poucos minutos, observando o Quadro 18 a célula vegetal apresentou um tempo de estudo médio razoável de 16 minutos sem erros, enquanto o tempo estimado para a célula animal foi de 15 minutos sem erros.

Analisando o tempo médio de estudo das duas interfaces, vemos que demandou um tempo total inferior a 40 minutos.

O MCT registra por meio de seu LOG o tempo e a ordem de acionamento de cada um dos sensores táteis, assim, verificamos se erros foram cometidos pelos usuários em seus estudos e em cada uma das interfaces temáticas gerenciadas pelo computador tátil do MCT.

Ao ser ligado, o MCT, em modo de repositório local, sem acesso à internet, é inicializado em 31 segundos, conforme informado no Quadro 18.

Numa observação não participante, analisamos os estudos dos alunos participantes em relação aos estudos com o MCT, temos que o aluno participante 01, cego congênito, foi o mais regular, por errar apenas um vez e ter terminado o estudo das células em menor tempo total (32m30s), pois ao estudar a célula animal e quando estava escutando a audiodescrição sobre a organela do

ribossomo, deveria ter ido para o peroxissomo, mas foi para o centríolo e teve que retornar ao ribossomo, em seguida, ser orientado para localizar o peroxissomo, conforme explicado no Quadro 15.

O aluno participante 02, cego adquirido, foi o que demorou mais em seus estudos (37m50s) e, também, o que mais errou, pois na célula vegetal, errou ao escutar o cloroplasto e o nucléolo por duas vezes, além de selecionar o núcleo ao invés do REL, assim como descrito no Quadro 14, mas em compensação não errou nenhum procedimento na célula animal e terminou o estudo desta célula em menor tempo, assim, entendemos que o aluno se acostumou com a lógica de como estudar com o MCT.

O aluno participante 03, baixa visão congênita moderada e com a melhor correção óptica, foi diferente, sendo o participante mais detalhista e exigente, também, mais curioso na célula vegetal ficou mais em silêncio e prestou mais atenção em como tudo funcionava, não errou em nada e terminou os estudos na casa dos 16 minutos (16m48s), mas nos estudos da célula animal perguntou mais sobre o MCT e por isso, perdeu mais tempo e errou ao pular o ribossomo indo direto para o peroxissomo, depois percebeu o erro e voltou para ouvir o ribossomo e finalizar os estudos da célula animal em 36 minutos e 54 segundos.

De uma forma geral, todos os alunos foram muito bem, uma vez que, foi o primeiro contato com essa tecnologia e entendemos que isso, seria mais desafiador para cada um deles.

Como constatamos, o MCT possui a possibilidade de registrar e de forma automática, cada passo da utilização do usuário, o que permite ao docente identificar quais seriam as possíveis dificuldades enfrentadas por cada um dos seus alunos em utilizar o MCT em seus estudos, passo-a-passo, assim, o professor orienta ao aluno de forma muito mais personalizada e ajudá-lo a superar as suas dúvidas e dificuldades ao estudar as interfaces temáticas no MCT.

Iniciamos a entrevista livre de avaliação e perguntamos ao participante, quais seriam as suas opiniões sobre a proposta dessa tecnologia do MCT, o aluno participante 01, respondeu que:

Por exemplo, uma coisa muito interessante é que ele te fala a próxima parte pra você ir [...] Te ajuda a não ficar perdido. Por exemplo, ele fala, ah, você vai agora pra tal parte que vai estar

a mais à esquerda e a frente [...] O conteúdo eu achei bem explicado [...] o conteúdo, ele está bem explicado e bem simples para conseguir uma compreensão facilitada as texturas, também, diferenciadas então você consegue diferenciar, facilmente, uma parte da outra isso facilita muito para você saber onde você está e onde você quer chegar (Aluno participante 01, 2025).

O discente comentou sobre as características do MCT, inclusive a forma em que o estudo é direcionado, permitindo ao aluno iniciar e concluir o seu estudo de forma autônoma, sem que ocorra a quebra de continuidade na sequência nas quais os conteúdos acadêmicos são expostos e isso permitiu ao aluno conseguir terminar os estudos das interfaces temáticas com o MCT.

O aluno participante 02, complementou que:

[...] e a voz também não é uma voz que, tipo, você vai se irritar ou algo assim, é uma voz bem tranquila e suave, não é robotizada, né [...] ela consegue ser expressiva [...] não está com textos muito longos, que às vezes é difícil de gravar. Estão uns textos mais curtos, mas também as informações mais importantes estão lá (Aluno participante 02, 2025).

Comentou sobre a voz que é bem agradável, esta característica procuramos trabalhar muito bem no MCT, pois é importante que o recurso pudesse entregar um conforto auditivo para o aluno conseguir sem atentar ao mais importante que é o papel do MCT em conduzir o conteúdo no qual ele foi programado.

O aluno participante 02 comentou que conseguiu criar um mapa mental das células eucariontes, perguntamos como foi esse processo e respondeu que:

[...] aqui está organizado, você consegue meio que imaginar a célula aberta e identificar os pontos delas ali. Elas estão bem separadas, geralmente a pessoa que é deficiente visual ou cega, ela costuma associar, tudo isso, numa forma que ela pense na cabeça ou imagine, quando ela começa a entender isso aqui, de um jeito melhor e nesse tamanho organizado, ela começa a imaginar e gravar, no caso o mapa mental (Aluno participante 02, 2025).

O aluno explicou que a pessoa cega desenha o mapa mental com o conteúdo e mais tudo que foi identificado pelo tato, o que contribui com o aprendizado desse educando e complementou dizendo:

[...] dos sensores ali, que eles, quando você passa o dedo assim, eles já... do sensor ligado aos áudios, que na hora que você identifica ali a organela, ele já te dá toda a explicação sobre aquela organela no áudio, com o toque no sensor (Aluno participante 02, 2025).

O aluno participante 02 explicou a dinâmica de como o MCT associa, simultaneamente, os sensores táteis a audição e os conteúdos acadêmicos facilitando o aprendizado dos alunos com deficiência visual.

O aluno participante 03 comparou uma aula prática que teve sobre as células, relatando que:

Porque geralmente, é tudo dado em imagem, sabe? Foi a primeira vez, teve uma aula com microscópio e tal e eu lembro que no dia, eu não quis transparecer isso e tal, mas mesmo que as meninas da minha turma, o pessoal do laboratório tentasse adaptar, eu acabei ficando muito mal, sabe? E se fosse nesse formato do mapa em 3D, eu ia conseguir entender melhor e até o pessoal que enxerga, também ia conseguir entender melhor (Aluna participante 03, 2025).

O discente relatou sobre a falta de preparo que ocorreu em uma aula no uso do microscópio em que não conseguiu acompanhar a turma mediante as suas deficiências e que se fosse utilizado este recurso do MCT seria muito mais fácil não somente para ela, mas para todos, potencializando a questão do MCT em possibilitar uma prática docente mais inclusiva, facilitando o trabalho decente e a suas características de entregar um *design* universal.

O aluno participante 03 comentou, assim como o aluno participante 02, como o cego gera as suas próprias imagens mentais sobre os conteúdos estudados, descreveu que:

[...] porque, geralmente, a gente utiliza muito imagem e isso prejudica um pouco, né? E mesmo com essa coisa da imaginação, a gente fica difícil, sabe? É, porque às vezes o nosso mapa mental não fica tão preciso quanto é a realidade, né? (Aluno participante 03, 2025).

O aluno participante 03 relatou a dificuldade na geração das imagens mentais por meio dos estudos dos conteúdos, que em muitos casos, o aluno cego não consegue desenvolver uma imagem fiel ao conteúdo estudado, por

esse motivo, que pesquisamos e desenvolvemos no MCT a matriz conceitual do *design* dos objetos para que o objeto entregue a imagem correta do que se deseja ser transmitido ao usuário final por meio das suas interfaces temáticas.

O aluno complementou sobre o MCT ao comentar sobre a questão da autonomia, ao dizer que “[...] além de me ajudar, sabe? Pode ajudar outras pessoas e também da nossa autonomia, sabe? [...]” (Aluno participante 03, 2025).

Comentamos sobre como o MCT contribuiria com o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual em tempos pandêmicos, nos quais o isolamento social é importante até que os órgãos de saúde obtenham o controle da situação e o aluno participante 03 disse que:

[...] pandemia eu não aprendi nada, eu peguei o conteúdo ali da prova. [...] nossa ia ser legal [...] porque as pessoas mais próximas, pessoas cegas e pessoas com outras deficiências também, irem compartilhando, ah, estava na minha casa, aí passa para a casa do coleguinha, que a gente pode fazer um grupo de estudos (via zap) (Aluno participante 03, 2025).

O participante relatou que na pandemia quase não aprendeu nada, dizendo que, praticamente, estudava para fazer a prova, comentou que sobre o MCT e que seria uma ótima estratégia educacional, inclusive, sugeriu que, após os estudos e o rodízio das interfaces temáticas, os alunos discutiriam o conteúdo estudado, por meio de grupos de estudos criados via grupos de mensagens.

Comentamos com o aluno participante 03 sobre como o MCT contribuiria com a prática docente em relação aos alunos com deficiência visual e ele respondeu que:

Muito, porque assim, uma coisa que eu percebo, é que a gente tem que conversar várias vezes com os professores, porque eles sentem muita dificuldade em saber lidar, por exemplo, a aula de matemática, para mim [...], mas também ele fica falando isso ou aquilo no quadro, mas eu não consigo perceber, sabe? Mesmo que tenha a aula do NAPNE em 40 minutos semanais [...]. Eu acho que é da própria faculdade de pedagogia, do próprio sistema de ensino, não preparar, porque uma coisa que eu já ouvi milhares de vezes e que eu concordo é, uma faculdade, uma coisa assim, para você ser professor te ensina a dar aula, não te ensina a prática, sabe? Não te ensina como é estar em sala de aula (Aluno participante 03, 2025).

O aluno criticou muito a prática docente em sua opinião, pois relatou que existe um despreparo em saber lidar com o aluno cego em sala de aula pelo fato de muitas das vezes o professor achar que esse perfil de aluno vai compreender o que está sendo explicado no quadro, o discente ainda critica a formação docente em sua base, pois as universidades não ensinam, na percepção do participante, os professores a atuarem na prática da sala de aula e acredita que a proposta do MCT possa ser um recurso educacional que contribua com essa prática docente. O participante complementou apresentando outra experiência problemática vivida em sala de aula:

[...] porque às vezes eu estou fazendo algum exercício, e aí exercício em grupo e tal, só que eles estão indo lá olhar no livro e aí é muito mais fácil, e eu estou ali alheia sabe? Principalmente em escolas públicas sabe? (Aluno participante 03, 2025).

O discente relatou um sentimento de exclusão, apresentando um exemplo no qual a pessoa cega em classes comuns e ao realizarem trabalhos em grupos, os alunos sem deficiência possuem mais facilidades ao consultarem os materiais disponíveis na resolução das tarefas, enquanto os cegos ficam alheios às informações pesquisadas por eles.

Assim, entendemos que com a proposta do MCT, os alunos cegos não ficariam mais alheios aos colegas, mas sim, contribuiriam com as suas habilidades em perceber os detalhes em relação ao conteúdo, que muitas das vezes, podem não serem percebidos nos livros, mas que os cegos percebem quando os mapas táteis são bem construídos e podem apresentar mais detalhes e funcionalidades muito mais detalhadas, como por exemplo, as funções celulares que ocorrem entre o retículo endoplasmático rugoso e o complexo de golgi nas células eucariontes vegetal e animal, que foi a interface proposta nessa pesquisa.

O participante foi bem mais além e indicou a importância desses materiais estarem disponíveis em salas de aulas nas escolas públicas, muito provavelmente, por essas escolas serem carentes de recursos e em muitas das vezes, recursos mais básicos.

O aluno participante apresentou uma limitação do MCT em atender as pessoas com deficiência visual numa proposta de design universal, quando relatou que:

Algumas são muito ambíguas, você pode interpretar como rosa, roxo, entendeu? [...] conseguir diferenciar, mas tem algumas muito parecidas, tipo esse lilás e esse rosa ou esses dois vermelhos aqui. Não, o vermelho é proposital. Os verdes, sabe? (Aluno participante 03, 2025).

O aluno participante 03 é muito exigente e criticou alguns pontos na interface do MCT e a cores foram mencionadas, explicamos que as cores são um desafio na deficiência visual para as pessoas de baixa visão, indo muito além das texturas para as pessoas cegas, pois na baixa visão, podemos encontrar pessoas em diversos níveis de deficiência visual, em que as cores podem estar ótimas para um determinado grupo e para outros, estarem bastante ruins, principalmente, quando se é necessário para o *design* do mapa, em diferenciar os símbolos táteis integrantes a esse mapa, no intuito de diferenciar pontos em que envolvem o conteúdo acadêmico.

Acreditamos que esses recursos educacionais ofereçam aos professores uma nova opção para ampliar as oportunidades dos alunos de compreender e acessar o conhecimento, considerando que estes necessitam que o saber seja apresentado de maneira mais concreta.

Assim como com o professor participante, no processo de avaliação docente, selecionamos algumas das mais importantes funcionalidades e características da tecnologia proposta e solicitamos aos alunos participantes a atribuição de um conjunto de notas, numa escala de 0 até 10, em que a nota zero representou a opinião de que foi ruim, não atendeu e a nota 10 fosse um nível de satisfação total e de atendimento pleno.

No Quadro 19, apresentamos as notas atribuídas pelos alunos participantes da pesquisa em campo sobre as funcionalidades do MCT, numa escala de nota 0 até a nota 10.

Quadro 19 – A avaliação discente das funcionalidades do MCT.

Item	Funcionalidades do MCT	Nota 01	Nota 02	Nota 03
01	A forma em que a matéria foi organizada pelo MCT lhe ajudou a compreender melhor.	10	10	10
02	Foi fácil estudar com o MCT.	10	10	10
03	A tecnologia empregada no MCT em unir o tato, os áudios e os conteúdos da matéria lhe ajudaram a estudar melhor.	10	10	10

04	O MCT é um bom recurso educacional.	10	10	10
05	A capacidade do MCT em estimular o seu aprendizado.	10	10	10
06	O nível no qual o MCT lhe ajudou a compreender a matéria mais do que os outros tipos de mapas táteis ou outros métodos que você costuma utilizar.	10	10	10
07	O nível em que você se sentiu confortável em utilizar o MCT como mapa tátil.	10	10	9
08	O nível em que você acredita que o MCT aumentou a qualidade em seus estudos.	10	10	10
09	O nível em que você percebeu que o MCT aumentou a sua autonomia para conseguir estudar sozinho em sala ou até mesmo em casa.	10	10	10
10	O nível no qual o MCT poderia ser utilizado como uma ferramenta educacional na pandemia para facilitar os estudos à distância. Aumentando a qualidade nos seus estudos.	10	10	10
11	O nível no qual o MCT poderia facilitar o trabalho do professor em apresentar a matéria para alunos com deficiência visual.	10	10	10

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

As funcionalidades do MCT foram definidas em relação às potencialidades do sistema em apoiar aos discentes com deficiência visual em seus estudos com a maior autonomia e qualidade possível, além de sua utilização como uma TA eficiente, também, no sentido de tornar a prática docente uma tarefa mais fácil e permitir ao professor a escolha de utilizar os recursos mais apropriados em sua abordagem no ambiente educacional.

Analisando as pontuações atribuídas, concluímos que, na opinião dos três alunos participantes, dos 11 itens selecionados, temos 330 pontos possíveis e o MCT obteve 329 pontos, representando um percentual de **99,69% de aprovação** em suas funcionalidades.

O MCT deixou de receber 1 ponto na opinião do aluno participante 03, que informou ser bem sensível ao tato e em algumas texturas sentiu algum desconforto, mas reconheceu que isso é um caso bem particular o que não interfere no aprendizado e na proposta da tecnologia.

No Quadro 20, apresentamos as notas atribuídas pelos três alunos participantes na pesquisa em campo sobre as características do MCT.

Quadro 20 – A avaliação discente das características do MCT.

Item	Características do MCT	Nota 01	Nota 02	Nota 03
01	O acabamento das formas empregados na interface do MCT.	10	10	10
02	A segurança e o conforto em utilizar o MCT em seus estudos.	10	10	9
03	As tonalidades das cores empregadas na interface do MCT.	N/A	N/A	9
04	A qualidade das texturas empregadas na interface do MCT.	10	10	9
05	A qualidade da escrita em Braille utilizada na interface do MCT.	10	10	N/A
06	A qualidade da escrita em tinta utilizada na interface do MCT.	N/A	N/A	10
07	A qualidade da voz configurada no MCT.	10	10	9
08	A qualidade dos símbolos táteis desenvolvidos na interface do MCT.	10	10	10
09	A forma de utilizar o MCT nos estudos de diversos temas.	10	10	10
10	A forma de conectar o MCT em cada uma de suas interfaces temáticas.	10	10	10
11	O conjunto de tecnologias empregados no MCT.	10	10	10

Fonte: Produzido pelo Autor (2025).

As características representam os requisitos selecionados sobre o *design* das interfaces temáticas gerenciadas pelo MCT e alguns dos recursos computacionais empregados na tecnologia.

Aplicando a mesma lógica de análise empregada para avaliar as funcionalidades pelos três discentes, pois dos 280 pontos possíveis, o MCT recebeu 278 pontos, podemos concluir que o MCT foi avaliado em **98,57% de aprovação** em suas características.

O MCT deixou de receber 1 ponto na opinião do aluno participante 03 pela avaliação do conforto e das texturas, pois o discente comentou sobre a sua sensibilidade ao tato, mas que de uma forma mais geral o MCT se saiu muito bem.

Perdeu um ponto em relação às cores, pois na opinião do aluno participante 03, algumas poderiam ser confundidas, mas, também, comentou que a questão das cores não costuma agradar a todos numa forma geral, sendo uma questão bem particular e difícil de ser tratada.

A voz foi comentada, também, pelo aluno participante 03, a voz ele gostaria que fosse uma voz mais grave, pois prefere uma voz masculina, mas reconheceu que é uma questão muito particular ao gosto de cada um.

A proposta do MCT foi muito bem avaliada pelos alunos com deficiência visual participantes da pesquisa que analisaram essa tecnologia assistiva de uma forma muito qualitativa e em alguns casos, também, quantitativa.

7 CONCLUSÃO

Mesmo com a redução do escopo, inicialmente, previsto para a pesquisa de campo, em função do cronograma exigido pelo programa de pós-graduação, essa adequação não comprometeu a pesquisa, muito menos os parâmetros metodológicos básicos estabelecidos e os resultados obtidos.

As mudanças de rumo ao longo da pesquisa resultaram em uma abordagem quantitativa e qualitativa, com forte predominância qualitativa. Ainda assim, os resultados não foram comprometidos, pois se mostraram suficientes para validar e avaliar a Modelagem Computacional Tátil, responder à questão de pesquisa e alcançar o objetivo geral proposto.

A pesquisa atingiu o objetivo geral ao estabelecer o conceito de Modelagem Computacional Tátil (MCT), permitindo a união dos sentidos do tato, da audição e o da visão funcional remanescentes, simultaneamente, empregados aos conteúdos acadêmicos numa proposta de modelagem de desenho universal, interativa, interdisciplinar e escalável que apoiou o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em qualquer área do conhecimento.

As seis matrizes conceituais resultaram no conceito da Modelagem Computacional Tátil, cuja primeira matriz, **a modelagem conceitual das especificidades da deficiência visual**, foi primordial para o desenvolvimento do MCT, pois nos forneceu os requisitos necessários para a criação de recursos educacionais que puderam atender as mais variadas necessidades e especificidades das pessoas com deficiência visual em seu processo de ensino e aprendizagem.

A segunda matriz, **a modelagem conceitual da neuroplasticidade na deficiência visual**, nos fez compreender que na falta da visão os sentidos do tato e o da audição são os mais desenvolvidos em comparação com as pessoas de visão saudável, assim, nos utilizamos desse conceito para o desenvolvimento de tecnologias assistivas mais eficientes.

A terceira matriz, **a modelagem conceitual das tecnologias assistivas**, nos apontou como que o MCT poderia se utilizar dos recursos entregues pelos mapas táteis no sentido de torná-los muito mais eficientes por meio de

características e funcionalidades adicionadas a eles por meio de recursos computacionais.

A quarta matriz, **a modelagem conceitual do *design* dos objetos**, contribuiu para a construção do computador tátil e, principalmente, das interfaces temáticas utilizadas pelo MCT, em permitir com que os alunos com deficiência visual compreendessem os conteúdos acadêmicos, de forma autônoma e com a máxima qualidade, em seus estudos, ao desenvolverem as suas próprias imagens mentais sobre conteúdos e, assim, atingirem o êxito acadêmico por meio desses recursos táteis.

A quinta matriz, **a modelagem conceitual da interação com os objetos**, que nos permitiu entender como poderíamos dividir e organizar os conteúdos acadêmicos de forma a entregar um conceito de estudo, no qual o objeto converse com o aluno por meio das audiodescrições e o aluno interaja por meio do seu tato. Além de criar mecanismos que não permita que o aluno fique perdido ao navegar pelas interfaces temáticas desenvolvidas para o MCT.

A sexta matriz, **a modelagem conceitual computacional**, que entregou todos os recursos computacionais, que gerenciaram os sensores táteis, a construção, testagem e o desenvolvimento da tecnologia, além de algumas das características e funcionalidades de conexão à Internet e acesso aos repositórios local e remoto (via EduCAPES).

Assim, fabricamos o conceito da Modelagem Computacional Tátil, o MCT, numa proposta de modelagem de desenho universal por ter a capacidade de apoiar não somente aos alunos com deficiência visual, mas a todos; interativa, pois interage com o aluno no momento em que o aluno tateie os símbolos táteis o sistema entrega a audiodescrição correspondente a esse símbolo; interdisciplinar, por abarcar diversos conceitos de diferentes áreas (computação, *design*, interação, deficiência visual, IHC, conteúdos acadêmicos, etc.); e escalável, com o emprego da impressão em 3D e corte a laser, desenvolvemos interfaces melhores elaboradas, dependendo da capacidade do docente e ou outros profissionais em elaborar as suas próprias interfaces temáticas para o MCT.

Estabelecemos a Modelagem Computacional Tátil (MCT) como uma solução de Design Universal capaz de apoiar não apenas os estudantes com deficiência visual, mas todo o corpo discente.

O MCT é um sistema interativo por possuir símbolos táteis distribuídos pelo mapa e por permitir ao estudante adquirir o conhecimento por meio de mapas temáticos que garantam mais autonomia e qualidade por meio desses estudos temáticos.

A escalabilidade do MCT foi alcançada por meio da impressão em 3D e do corte a laser, por produzir interfaces de variados níveis de complexidade, conforme as habilidades do docente ou de outros profissionais possam desenvolvê-las.

Nas fases de campo, prototipamos as provas de conceitos que materializem o MCT, aplicando as suas técnicas nas **FASE_01** e **FASE_02** da pesquisa de campo.

Validamos os conceitos do MCT por meio dos protótipos, provas de conceitos, que aplicados em campo nas **FASE_03** e **FASE_04** da pesquisa de campo.

A pesquisa avaliou os limites e as possibilidades do MCT em apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual em diversas áreas do conhecimento na visão dos participantes da pesquisa aplicada em campo nas **FASE_05** e **FASE_06** da pesquisa de campo.

A modelagem em 3D facilitou o processo da prototipagem evolutiva, pois as modificações foram realizadas antes do desenvolvimento físico dos protótipos.

A modelagem em 3D, também, permitiu ao pesquisador, melhor dimensionar as organelas em função da escala, pois a precisão entregue pelo Fusion 360 e na casa dos décimos de milímetros.

Com a impressão em 3D foi possível o desenvolvimento dessa tecnologia assistiva de forma muito mais eficiente sem desperdício de material, pois o processo de construção foi realizado por meio da modelagem em 3D e, somente, posteriormente, os arquivos são impressos em 3D de fato.

A impressão em 3D agilizou o desenvolvimento dos protótipos se mostrado ser uma fábrica de tecnologia assistivas de prototipagem rápida.

A impressão em 3D permite que os arquivos modelados possam ser produzidos e distribuídos em larga escala com o intuito da construção dessa tecnologia assistiva, minimizando os custos de desenvolvimento e aumentando a evolução tecnológica desses recursos.

Os produtos da pesquisa são os arquivos em formato STL, resultados obtidos por meio da modelagem em 3D, que podem ser disponibilizados para todos os usuários ao redor do mundo, permitindo uma distribuição e impressão em grande escala.

Em atendimento ao estado da arte entregues pela matriz conceitual do *design* dos objetos, utilizamos apenas uma unidade para cada organela ao longo da interface experimental para não poluirmos o mapa tátil, permitindo uma navegação tátil mais fluída, principalmente para os alunos cegos.

Em cada organela, em sua forma e textura, procuramos na modelagem em 3D, trabalhar um design que melhor permitisse facilitar a criação dos modelos mentais aos alunos cegos por meio dos conteúdos temáticos.

Repetimos o design das organelas entre as células eucarionte vegetal e animal para facilitar os estudos dos alunos cegos, em identificar às organelas que são comuns e únicas em cada uma das células animal e vegetal.

Os próprios alunos com deficiência visual e o docente puderam propor as melhores estratégias e oportunidade de melhorias, que ao serem aplicadas, puderam contribuir com o seu aprendizado e prática docente, assim, como citado nas entrevistas sobre o MCT e, assim, o pesquisador valorizou a opinião discente e, também, docente valorizando o seu protagonismo educacional.

Em alguns relatos dos discentes, percebemos que os próprios professores não sabem lidar com esses educandos, pois os alunos percebem que em algumas dessas práticas docente, não existem estratégias educacionais especiais que sejam adaptadas ou pelo menos planejadas em atendimento as especificidades desses educandos, sem comentar que os professores carecem de recursos que os apoiem nessa prática.

Muitas das fases de desenvolvimento (modelagem em 3D) puderam ser realizadas, remotamente, permitindo a união de diversos pesquisadores ou profissionais ao longo do mundo, permitindo a criação de uma rede colaborativa em torno de um projeto específico.

Na pesquisa de mestrado, o mapa tátil da Região Sudeste do Brasil foi desenvolvido para atender as necessidades específicas dos alunos com deficiência visual para ser aplicado em campo como instrumento de investigação e testagem.

Um dos desafios identificados na pesquisa de mestrado e que foi melhor abordado na pesquisa do doutorado acadêmico foi o sistema que gerencia os conteúdos acadêmicos, proporcionando uma melhor interface destinada ao professor no intuito de permiti-lo trabalhar com os conteúdos das mais variadas temáticas e áreas do conhecimento em um só dispositivo, além de permitir a modificação dos conteúdos por meio da Internet das Coisas de forma online.

Assim, respondemos, também, a questão de pesquisa:

Quais são os limites e as possibilidades do Modelo Computacional Tátil (MCT) como tecnologia assistiva em apoiar o ensino e aprendizagem das pessoas com deficiência visual em diversas áreas do conhecimento?

Dentre todos os relatos dos docentes e discentes, podemos concluir que o MCT apresentou muito mais possibilidades do que limitações.

As possibilidades podem ser maximizadas ao longo do tempo de implementação desta tecnologia nos ambientes educacionais e aos limites podem ser superados com mais ciclos de evolução dessa mesma tecnologia, sabemos que nenhuma tecnologia está limitada a determinadas características e funcionalidades.

Na construção das interfaces temáticas desenvolvidas para o MCT, podemos adotar diversas estratégias de construção em grande escala ou com predominância mais artesanais, ficando a critério do desenvolvedor e dependendo da demanda a serem atendidas.

Numa abordagem bem similar e muito mais qualitativa do que quantitativa, o MCT foi avaliado pelos **docentes em 98,33% nas suas funcionalidades**, nas **características em 100%**, na opinião discente, o **MCT obteve 99,69% e 98,57%, respectivamente.**

A utilização da computação pervasiva nos permitiu retirar o foco da tecnologia computacional empregada no MCT e permitir aos usuários finais perceberem somente a tecnologia empregada no MCT que permitisse a união dos sentidos de forma a apoiar o ensino e a aprendizagem das pessoas com deficiência visual.

A prototipagem evolutiva de Pressman nos permitiu desenvolver o MCT de forma mais eficiente, pois, juntamente com a modelagem em 3D no Fusion 360 e com a tecnologia da impressão em 3D, poderemos disponibilizar a

montagem e a construção física das interfaces das células eucariontes para todos por meio da Internet.

O MCT se apresentou em suas características e em suas funcionalidades uma tecnologia assistiva pronta, adaptável, testada e evoluída, cientificamente, o que ajuda em sua prática no sentido de entrega dos requisitos para a construção das interfaces de forma muito mais eficientes no sentido de melhor atender aos alunos em suas especificidades e em suas demandas.

O atendimento docente foi atingido na possibilidade de proporcionar mais uma opção de escolha para o professor inovar em sua prática docente com a disposição de materiais didáticos que entregam características e funcionalidade de tecnologia assistiva no atendimento não somente para a deficiência visual, mas também em facilitar o entendimento do conhecimento temático por meio de materiais que permitam apresentar os conteúdos acadêmicos de forma muito lúdica e concreta.

MCT apresentou um potencial de atender aos alunos inclusive em tempos pandêmicos e em outros casos que possam ser mais comuns, como a necessidade de um regime especial de aprendizagem, em que o educando necessite ausentar-se do ambiente escolar por motivo de força maior.

8 PERSPECTIVAS FUTURAS

A modelagem computacional tátil, assim como qualquer sistema computacional, deve ser amplamente testada e posta à prova a partir da usabilidade aplicada aos seus usuários e evoluindo o seu ciclo de vida, pretendemos continuar com a pesquisa de forma a desenvolver novas interfaces temáticas abordando a outras áreas do conhecimento.

Ao longo da pesquisa em campo no Colégio Pedro II, os alunos com deficiência visual participantes relataram sobre a importância de o MCT possuir o controle da velocidade da voz, o que permitiria uma maior autonomia no controle do tempo relacionado à regulação do ritmo em seus estudos, buscaremos implementar por hardware ou por software esse controle, tornando o sistema mais eficiente nessa função.

Em atendimento às necessidades específicas das pessoas com deficiência visual de baixa visão, necessitamos investir em pesquisas voltadas para o aprimoramento do tratamento das cores a serem utilizadas nas interfaces desse modelo computacional, assim, poderemos viabilizar interfaces mais confortáveis visualmente para este público.

Entendemos ser importante ampliar a pesquisa em campo na utilização da impressão em 3D utilizando a resina na construção de novas interfaces temáticas de forma a avaliar quais seriam os seus custos e benefícios em relação às impressões em FDM que foram utilizadas nesta pesquisa.

Organizar ações de treinamento que capacitem o próprio docente a desenvolver as suas próprias interfaces temáticas e modificação dos conteúdos audiodescritos, com base em manuais do MCT, possibilitando, assim, a escalabilidade de uso dessa tecnologia.

Seria importante, assim como relatado pelo aluno participante 03, viabilizar a utilização do MCT em escolas públicas, permitindo que mais alunos com deficiência visual acessem a esta tecnologia assistiva e, também, oportunizar aos professores mais opções de inovar em sua prática docente aplicada a esse público alvo.

A Modelagem desenvolvida nesta pesquisa permite a criação de grupos de trabalho educacionais, por meio de linhas de pesquisas para o aprimoramento

das funcionalidades do computador tátil e para a evolução e desenvolvimento de novas interfaces temáticas para o MCT.

Expandir essa modelagem computacional, desenvolvendo uma rede colaborativa de modelagem em 3D, permitindo na prática, que novos usuários desenvolvam cada vez mais interfaces interativas do MCT modeladas em 3D, sendo disponibilizadas, gratuitamente, podendo serem impressas em 3D em benefício ao sistema educacional de ensino.

Com o investimento em novas pesquisas empregada nessa tecnologia assistiva, seria possível além de expor os conteúdos acadêmicos por meio de suas interfaces temáticas, poderíamos gamificar esses conteúdos, o que permitiria estimular ainda mais os alunos com deficiência visual, assim como a indústria dos games costumam utilizar como recursos atrativos para os seus consumidores.

A modelagem possui atributos de modelo universal e permite apoiar a educação de alunos com ou sem deficiências, beneficiando a todos.

A tecnologia permite a criação de repositórios temáticos educacionais, assim como o exemplo do portal da eduCAPES, podendo concentrar os arquivos modelados em 3D para serem impressos na criação das interfaces temáticas, os arquivos das audiodescrições dessas interfaces e os arquivos que podem atualizar as versões de firmware executada no computador tátil.

Outra oportunidade que poderia ser amplamente explorada seria o incentivo por parte das instituições de ensino em estimularem mais pesquisas sobre as tecnologias assistivas de modelagem computacional, no sentido de que os trabalhos de iniciação científica, conclusão de curso, dissertações e teses poderiam se apropriar dessa tecnologia do computador tátil do MCT para o desenvolvimento e aprimoramento de novas interfaces temáticas que abordem as diversas áreas do conhecimento.

Diversas são as oportunidades que podemos aprimorar as tecnologias assistivas, principalmente, as computacionais que são, constantemente, evoluídas em favor da usabilidade e aplicabilidade para seus usuários.

Assim, devemos incentivar a ciência na promoção de novas pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias assistivas, que no caso específico do MCT, é preciso medir o uso continuado dessa proposta, avaliando o seu desempenho em prol de seu aperfeiçoamento contínuo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050:** Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 3ed. 2016. Disponível em <http://www.ufpb.br/cia/contents/manuais/abnt-nbr9050-edicao-2015.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16537:** Acessibilidade - Sinalização tátil no piso - Diretrizes para elaboração de projetos e instalação. 1ed. 2016. Disponível em: http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_generico_imagens-filefield-description%5D_176.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: 2015/Em1: 2020.** Acessibilidade a edificações, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos. 3.ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17060:2022:** Acessibilidade de dispositivos móveis - requisitos. 2022. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx>. Acesso em: 31 dez. 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16537:24024:** Acessibilidade - Sinalização tátil no piso - Diretrizes para elaboração de projetos e instalação. 1ed. 2024. Disponível em: <https://acessibilizar.com.br/wp-content/uploads/2024/01/ABNT-NBR-16537-2024-piso-tatil.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2024.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 117225:2025:** Acessibilidade em conteúdo e aplicações web – Requisitos. 1ed. 2025. Disponível em: <https://www.abntcolecacao.com.br/mpf/grid.aspx>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALEXANDRAKIS, Vassilis. **A participatory approach to the development of specifications for a 3D puzzle for visually impaired and sighted users.** 2016. 103f. Dissertation (Master of Science) - Royal Institute of Technology in Stockholm. Stockholm, 2016. Disponível em: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A955255&dswid=-5926>. Acesso em: 04 fev. 2025.

ALMEIDA, Regina Araújo. A cartografia tátil no ensino de Geografia. In: ALMEIDA, Rosângela Doin de (org.). **Cartografia escolar.** 2º Ed. São Paulo: Contexto, 2010. P. 119-144.

ALVES, David de Abreu; ALENCAR, Alisson Clauber Mendes de; BEZERRA, HANNAH, Carla de Jesus. A cartografia tátil como recurso didático para inclusão de deficientes visuais nas aulas de geografia: breves considerações. In: II

CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO INCLUSIVA E III JORNADA CHILENA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO INCLUSIVA. Campina Grande–PB, 2016. **Anais...** Pernambuco: Realize, 2016. p. 1-12. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/cintedi/2016/TRABALHO_EV060_MD1_SA4_ID2594_12102016004850.pdf. Acesso em: 06 fev. 2025.

AMERICAN PRINTING HOUSE FOR THE BLIND, Inc. APH. **APHont**, 2018. Disponível em: <http://www.aph.org/products/aphont>. Acesso em: 06 fev. 2025.

ANDRADE, Maria Clara; ARAÚJO, Beatriz. **94% dos professores não têm formação para lidar com alunos com deficiência**. Terra Notícias, [s.l.], 21 set. 2023. Disponível em: https://www.terra.com.br/noticias/educacao/educar-para-incluir/94-dos-professores-nao-tem-formacao-para-lidar-com-alunos-com-deficiencia%2C5d4213e256ec2b1bd3204e649b0f49a9sqswjtji.html#google_vignette. Acesso em: 19 jan. 2025.

ARDUINO. **ARDUÍNO**, 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em 08 fev. 2025.

ARISTÓTELES. **Arte Poética**. São Paulo: Martin-Claret. 2003.

ARRUDA, Luciana Maria Santos de. Geografia na infância para alunos com deficiência visual: a utilização de uma maquete multissensorial para a aprendizagem do conceito de paisagem. **Giramundo**, Rio de Janeiro, v.3, n.5, p. 93-101, jan./jun. 2016. Disponível em: <https://revistaedugeo.com.br/revistaedugeo/article/view/379>. Acesso em: 02.fev.2025.

ASTHON, Kevin. ***That “Internet of Things” in real world, things matter more than ideas***. RFID Journal, Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BEM, Gabriel Moraes de. **Parâmetros de fabricação de símbolos para mapas táteis arquitetônicos**. 2016. 204f. Dissertação (mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/174159>. Acesso em: 02 fev. 2025.

BARRAGA, N. C. **Mode of Reading for low vision students**. International Journal for the Education of the Blind, n12, p. 103-107, 1963.

BERSCH, Rita. Introdução a tecnologia assistiva. **Tecnologia e educação**: Porto Alegre, p. 1-20, 2025. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2025.

BRASIL. Decreto n.º 1.428, de 12 de setembro de 1854. Crea nesta Côrte hum Instituto denominado Imperial Instituto dos meninos cegos. **Coleção de Leis do Império do Brasil**, p. 295, vol. 1 pt I. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-1428-12-setembro-1854-508506-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 05 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 939, de 26 de setembro de 1857. Fixando a Despesa e orçando a Receita para o exercício de 1858-1859. **Palácio do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/leimp/1824-1899/lei-939-26-setembro-1857-557839-norma-pl.html>. Acesso em: 05 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 44.236, de 1 de agosto de 1958. Institui a Campanha Nacional de Educação e Reabilitação dos Deficientes Visuais. **Diário Oficial da União**, seção 1, p. 17528. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1950-1959/decreto-44236-1-agosto-1958-383373-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 05 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 48.252, de 31 de maio de 1960. Altera dispositivos do Decreto N.º 44.236, de 1 de agosto de 1958. **Diário Oficial da União**, seção 1, p. 8701. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-48252-31-maio-1960-387860-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 05 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 72.425, de 3 de julho de 1973. Cria o Centro Nacional de Educação Especial (CENESP), e das outras providências. **Diário Oficial da União**, seção 1, p. 6426. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-72425-3-julho-1973-420888-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. **Diário Oficial da União**, seção 1, p.1. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/consti/1988/constituicao-1988-5-outubro-1988-322142-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 7.853, de 24 de outubro de 1989. Dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência, sua integração social, sobre a Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência - Corde, institui a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplina a atuação do Ministério Público, define crimes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7853.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 8.069, de 13 de julho de 1990. Dispõe sobre o Estatuto da Criança e do Adolescente e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8069.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8213cons.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 8.742, de 7 de dezembro de 1993. Dispõe sobre a organização da Assistência Social e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8742.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Circular n.º 277/MEC/GM, 08 de maio de 1996a. A execução adequada de uma política educacional dirigida aos portadores de necessidades especiais possibilita que venham a alcançar níveis cada vez mais elevados do seu desenvolvimento acadêmico. **Ministério da Educação**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/aviso277.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996b. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 3.298, de 20 de dezembro de 1999a. Regulamenta a Lei no 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3298.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Portaria n.º 319, de 26 de fevereiro de 1999b. Uma política de diretrizes e normas para o uso, o ensino, a produção e a difusão do Sistema Braille em todas as modalidades de aplicação, compreendendo especialmente a Língua Portuguesa, a Matemática e outras Ciências, a Música e a Informática. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/port319.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 10.048, de 8 de novembro de 2000a. Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10048.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 10.098, de 19 de dezembro de 2000b. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10098.htm. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Resolução CNE/CEB n.º 2, de 11 de setembro de 2001a. Institui Diretrizes Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica. **Ministério da Educação**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CEB0201.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Lei n.º 10.172, de 9 de janeiro de 2001b. Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10172.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Resolução CNE/CP n.º1, de 18 de fevereiro de 2002a. **Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da**

Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/res1_2.pdf. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Lei n.º 10.436, de 24 de abril de 2002b. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10436.htm. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Portaria n.º 2.678, de 24 de setembro de 2002c. Considerando o interesse do Governo Federal em adotar para todo o País uma política de diretrizes e normas para o uso, o ensino, a produção e a difusão do Sistema Braille em todas as modalidades de aplicação, compreendendo especialmente a Língua Portuguesa. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.678-de-2-de-outubro-de-2020-281070050>. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 5.626, de 22 de dezembro de 2005. Regulamenta a Lei no 10.436, de 24 de abril de 2002, que dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras, e o art. 18 da Lei no 10.098, de 19 de dezembro de 2000. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5626.htm. Acesso em: 07 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 5.904, de 21 de setembro de 2006a. Regulamenta a Lei no 11.126, de 27 de junho de 2005, que dispõe sobre o direito da pessoa com deficiência visual de ingressar e permanecer em ambientes de uso coletivo acompanhada de cão-guia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5904.htm. Acesso em: 08 jan. 2024.

BRASIL. **Plano Nacional de Educação em Direitos Humanos**. 2006b. Comitê Nacional de Educação em Direitos Humanos. Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Ministério da Educação, Ministério da Justiça. UNESCO, 2006.

BRASIL. Decreto n.º 6.094, de 24 de abril de 2007a. Dispõe sobre a implementação do Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação, pela União Federal, em regime de colaboração com Municípios, Distrito Federal e Estados, e a participação das famílias e da comunidade, mediante programas e ações de assistência técnica e financeira, visando a mobilização social pela melhoria da qualidade da educação básica. **Diário Oficial da União**.

Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6094.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. O Plano de Desenvolvimento da Educação. Razões, Princípios e Programas. Brasília–DF, MEC, 2007b.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. **Ata da VII Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas – CAT**: realizada nos dias 13 e 14 de dezembro de 2007. Brasília: SEDH/PR, 2007c. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Ata_VII_Reuni%C3%A3o_do_Comite_de_Ajudas_T%C3%A9cnicas.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRASIL. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Define as políticas públicas promotoras de uma Educação de qualidade para todos os alunos. Brasília: janeiro de 2008a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeduc ESPECIAL.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 6.571, de 17 de setembro de 2008b. Define o AEE na educação básica com os recursos, as atividades e os recursos pedagógicos que possam complementar ou até suplementar a formação das PcD no ensino regular. **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6571.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CEB 4/2009a. Institui Diretrizes Operacionais para o Atendimento Educacional Especializado na Educação Básica, modalidade Educação Especial. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 de outubro de 2009, Seção 1, p. 17. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rceb004_09.pdf. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 6.949, de 25 de agosto de 2009b. Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm. Acesso em: 08 jan. 2024.

BRASIL. Decreto n.º 7.480. 2011a. Absorvendo competências antes da Sesu, da Setec e da extinta Seed do Ministério da Educação. **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7480.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Decreto N.º 7.611, de 17 de novembro de 2011b. Dispõe sobre a educação especial, o atendimento educacional especializado e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7611.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Lei N.º 12.764, de 27 de dezembro de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção dos Direitos da Pessoa com Transtorno do Espectro Autista; e altera o § 3º do art. 98 da Lei n.º 8.112, de 11 de dezembro de 1990. **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12764.htm. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Lei N.º 13.005, DE 25 de Junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação - PNE e outras providências. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - Edição Extra - 26/6/2014, Página 1. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2014/lei-13005-25-junho-2014-778970-publicacaooriginal-144468-pl.html>. Acesso em: 08 fev. 2024.

BRASIL. Lei n.º 13.146, de 06 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). **Diário Oficial da União**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/L Lei/L13146.htm. Acesso em: 02 jan.2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução N.º 510**, de 07 de abril de 2016. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.htm. Acesso em: 27 jun. 2024.

BRASIL. Decreto N.º 9.465, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Educação... **Diário Oficial da União**. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57633286. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Decreto N.º 10.502, de 30 de setembro de 2020. Institui a Política Nacional de Educação Especial: Equitativa, Inclusiva e com Aprendizado ao Longo da Vida. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.502-de-30-de-setembro-de-2020-280529948>. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Comitê Interministerial de Tecnologia Assistiva. **Plano Nacional de Tecnologia assistiva**. Brasília: MCTI, 2021. 70 p. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes-mcti/plano-nacional-de-tecnologia-assistiva/pnta_documento_web.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRASIL. Lei 14.624/2023, de 17 de julho de 2023a. **Diário Oficial da União**, p. 1, Edição extra. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14624.htm. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Lei 14.626/2023, de 19 de julho de 2023b. **Diário Oficial da União** de 20/07/2023, Edição 137, Seção 1, p. 1. Disponível em: <https://www.irib.org.br/noticias/detalhes/lei-n-14-626-de-19-de-julho-de-2023>. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Resultados do Censo Escolar**. INEP, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar/resultados>. Acesso em: 19 jan. 2025.

BioGeo, **Science Art. Eukaryotic Animal Cell**. 29 jun. 2020. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:4505123>. Acesso em: 15 mar. 2024.

BRULE, Emeline *et al.* MapSense: Multi-Sensory Interactive Maps for Children Living with Visual Impairments. **Proceedings of the Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems**. Learning Feedback, - chi4good, May, San José, United States p. 445-457, 2016. Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-01263056/document>. Acesso em: 03 fev. 2025.

BRUNO, Marilda Moraes Garcia; MOTA, Maria Glória Batista da. **Programa de Capacitação de Recursos Humanos do Ensino Fundamental: deficiência visual**. Vol. 1, Fascículos I – II – III. Colaboração: Instituto Benjamin Constant. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Especial, 2001. 196 p. (Série Atualidades Pedagógicas; 6).

CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. **The psychology of human-computer interaction**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

CENCI, Carlos Alberto; BERNARDI, Núbia. Maquetes Táteis produzidas a partir de Técnicas de Fabricação Digital: investigação de simbologia para orientação espacial de deficientes visuais. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO & VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE INTEGRAL, 2., 2016, Salvador. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2016, p.248-259. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/designproceedings/eneac2016/ACE03-5.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2025.

CIRILO, Carlos Eduardo. Computação Ubíqua: definição, princípios e tecnologias. **Cientifcarticle, Universidade Federal de São Carlos, Brasil**, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/1733697/Computa%C3%A7%C3%A3o_Ub%C3%A4qua_defini%C3%A7%C3%A3o_princ%C3%ADpios_e_tecnologias. Acesso em: 08 fev. 2025.

CONSENZA, Ramon; GUERRA, Leonor Bezerra. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

COOK, A.M. & HUSSEY, S. M. **Assistive Technologies: Principles and Practices**. St. Louis, Missouri. Mosby – Year Book, 1995.

CORN, Anne L., **Instruction in the Use of Vision for Children and Adults with Low Vision: A Proposed Program Model**. RE: view, 21, n1 p. 26-38, 1989.

CORN, A. L., & Erin, J. N. (Ed.) (2010). **Foundation of Low Vision: Clinical and Functional perspectives**. (2a ed.). Nova Iorque: American Foundation for the Blind.

CORRÊA, E. J.; BOTEON, J. E.; MOLINARI, L. C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, B. M. Avaliação ocular de crianças e adolescentes na atenção básica à saúde. In: GUSMAO, C. M. G. *et al.* **II Relato de experiências em tecnologias educacionais do Sistema UNA-SUS 2015**. 22. Ed. Recife: Editora Universitária UFPE, p.196 - 211, 2015. Disponível em: https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/avalia%C3%A7ao_ocular_crian%C3%A7a.pdf. Acesso em: 20 mai. 2024.

DAHLBERG, I. Teoria do conceito. **Ciência da Informação**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 101-107, 1978.

DEGREAS, Helena Napoleon; KATAKURA, Paula. Mapas táteis: orientação e mobilidade em ambiente urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/8, p. 1-18, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Helena_Degreas/publication/320934732. Acesso em: 04 fev. 2025.

DIAS, Glaucia Soldati; SANTOS, Ivan Mota. CRIAÇÃO DE UM MAPA TÁTIL ATRAVÉS DA TECNOLOGIA ASSISTIVA: MAIS ACESSIBILIDADE AOS DEFICIENTES VISUAIS COM A UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 5386-5397, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/ivan-santos-8/publication/311459748_criacao_de_um_mapa_tatil_atraves_da_tecnologia_a_ssistiva_mais_acessibilidade_aos_deficientes_visuais_com_a_utilizacao_da_impessao_3d/links/58525f3608ae95fd8e1d4006/criacao-de-um-mapa-tatil-atraves-da-tecnologia-assistiva-mais-acessibilidade-aos-deficientes-visuais-com-a-utilizacao-da-impessao-3d.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

ENGELBART, D. R. **Augmenting human intellect: a conceptual framework**. Relatório R-1257. Menlo Park, Calif.: SRI International, 1962. Disponível em: <https://www.doungengelbart.org/pubs/augment-3906.html>. Acesso em: 13 fev. 2025.

FERREIRA, J. M. G. C., ALVES, N. M. F., MATEUS, A. J. S., & CUSTÓDIO, P. M. C. (2001). **Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de engenharia inversa e prototipagem rápida**. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Florianópolis–SC, Brasil, 3. Disponível em: <https://pmd.igdp.org.br/article/586fc50ef7636eea018b458b>. Acesso em: 08 fev. 2025.

FERREIRA, Norma Sandra de Almeida. **As pesquisas denominadas “estado da arte”**. *Educação & Sociedade*, Campinas, v. 23, n. 79, p. 257–272, ago. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/vPsyhSBW4xJT48FfrdCtqfp/?format=pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

FIGUEIREDO, João Ricardo Melo. DEFICIÊNCIA VISUAL: DESAFIOS PARA A EDUCAÇÃO INCLUSIVA. **Seminário de Educação Cruz Alta–RS**, v. 5, n. 1, p. 35-36, 2017. Disponível em: <http://www.exatasnaweb.com.br/revista/index.php/anais/article/view/266>. Acesso em: 12 set. 2024.

FONSECA, Vitor da. **Desenvolvimento cognitivo e processo de ensino-aprendizagem**: abordagem psicopedagógica à luz de Vygotsky. Petrópolis, RJ: Vozes, 2018.

FÓZ, Adriana. Neurociência na Educação I. In: PANTANO, Telma; ZORZI, Jaime Luiz. Neurociência aplicada à aprendizagem. São José dos Campos-SP: Pulso, 2009. p. 169-184.

GEE, Dylan G. G. et al. Neurocognitive Development of Motivated Behavior: Dynamic Changes across Childhood and Adolescence. **The Journal of Neuroscience**, October, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30381435/>. Acesso em: 13 fev. 2024.

GIBSON, James. J. **The Ecological Approach to Visual Perception**, New York: Psychology Press, 1979, p. 127.

GIORGOS, Mikrou. **Research, study, design and production of a tactile map, created by 3d printing technology, in order to cater the people with partial or total blindness in the interactive park and the citadel of Leivithra**. 2017. 46f. Dissertation (Master of Science (MSc) in Strategic Product Design) - International Hellenic University, Thessaloniki – Greece, 2017. Disponível em: <https://repository-api.ihu.gr/server/api/core/bitstreams/2d472312-fbce-4c0b-85af-41fe6810aa46/content>. Acesso em: 02 fev. 2025.

GOLDSCHMIDT, Andrea Inês *et al.* A importância do lúdico e dos sentidos sensoriais humanos na aprendizagem do meio ambiente. In **Seminário internacional de educação–indisciplina e violência na escola: cenários e direções, Cachoeira do Sul**, p. 9-11, 2008. Disponível em: <http://www.sieduca.com.br/2008/admin/upload/70.doc>. Acesso em: 16 mai. 2024.

GROSSI, Márcia Gorett Ribeiro. **Neurociências e a aprendizagem de pessoas com deficiência intelectual**: um estudo de caso. Vértices: Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro. v. 20. n. 1. p. 120-134. Jan e abr. 2018. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/9901/912268>. Acesso em: 13 fev. 2024.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. 5ed. Hoboken: Wiley, 2013.

GUSE, Rosana. O que é Arduíno, para que serve e primeiros passos? **MAKERHERO**. Florianópolis–SC, 02 set. 2014. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 21 fev. 2025.

GUARDIA Antônio C. **Projeto Agraber 30i**. 2025. Disponível em: <https://github.com/acguardia/AGraber-30i>. Acesso em: 23 fev. 2025.

HEATH, Steve. **Embedded systems design**. 2ed. Oxford: Newnes, 2003. Disponível em: [http://diliev.com/Home/applications/Library/Embedded%20Systems%20Design%20nd%20ed%20-%20S%5b1%5d.%20Heath%20\(Newnes,%202003\)%20WW.pdf](http://diliev.com/Home/applications/Library/Embedded%20Systems%20Design%20nd%20ed%20-%20S%5b1%5d.%20Heath%20(Newnes,%202003)%20WW.pdf). Acesso em: 18 abr. 2025.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro, p.1-215, 2010. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/0a9afaed04d79830f73a16136dba23b9.pdf. Acesso em: 19 jan. 2025.

Jordá, Saray Mañas. **Célula Eucariota Vegetal**. 25 abr. 2020. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:4311985>. Acesso em: 15 mar. 2024.

KAHL, Marcelo; FLORIANO, Diogo. Computação ubíqua, tecnologia sem limites. **Vale do Itajaí-SC**, 2012. Disponível em: https://www.ceavi.udesc.br/arquivos/id_submenu/387/diogo_floriano_marcelo_kahl_computacao_ubiqua.pdf. Acesso em: 08 fev. 2025.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing processes for engineering materials**. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2014.

KANT, Immanuel. **Crítica da razão pura**. São Paulo, Nova Cultural, 1999.

KASTRUP, Virgínia. A invenção na ponta dos dedos: a reversão da atenção em pessoas com deficiência visual. **Psicol. rev. (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v.13, n. 1, p. 69-90, jun. 2007. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-11682007000100005&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 10 set. 2024.

KOEHLER, Karen Elaine. **Examining the Conceptual Understandings of Geoscience Concepts of Students with Visual Impairments**: Implications of 3-D Printing. Doctor (Doctor of Philosophy)- Graduate School of The Ohio State University, Ohio, 2017. Disponível em: https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/ws/send_file/send?accession=osu1494273823844707&disposition=inline. Acesso em: 03 fev. 2024.

KOESTLER, Arthur. **The Act of Creation**. London: Hutchinson, 1964.

KOESTLER, Arthur. **Jano**. São Paulo. Melhoramentos, 1981.

KLIPPER. **Klipper Documentation**. Disponível em: <https://klipper3d.org/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

LACERDA, Flavia; LIMA-MARQUES, Mamede. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. **Perspect. ciênc. inf.**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 158-171, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-99362015000200158&lng=en&nrm=iso. Acesso em 08 fev. 2025.

LIMA, Patrícia Campos; FONSECA, Letícia Pedruzzi. Recursos táteis adaptados ou construídos para o ensino de deficientes visuais. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO SUPERIOR A DISTÂNCIA E II CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO SUPERIOR A DISTÂNCIA. São João Del Rei-MG, 2016. **Anais...** São João Del Rei, 2016. p. 1-15. Disponível em: https://ldi.ufes.br/site/arquivos/artigoLDI_recursos-tateis-adaptados-ou-construidos-para-o-ensino-de-deficientes-visuais.pdf. Acesso em: 07 fev. 2025.

LINDSTEDT, Eva - **O quanto uma criança vê**. São Paulo: Santa Casa, 1989

LYNN, L. E. **Designing Public Policy: A Casebook on the Role of Policy Analysis**. Santa Monica, Calif.: Goodyear, 1980.

MAKERHERO. **Placa ESP32 NodeMCU ESP-12**. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/modulo-wifi-esp32s-nodemcu-esp-12/#tab-description>. Acesso em: 21 fev. 2025.

MANLEY, Sandra. **Inclusive designing the built environment who do we design for?** Training Handbook. March/April, 2016. Disponível em: https://www.redmond.gov/DocumentCenter/View/30104/InclusiveDesign_traininghandbook. Acesso em: 02 fev. 2025.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MARTINS, Gabriel Pigozzo Tanus Cherp. Com que conceito de inclusão iniciaremos 2020? **Tribuna de Minas**. Juiz de Fora-MG, 2020. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/opiniaio/tribuna-livre/05-01-2020/com-que-conceito-de-inclusao-iniciaremos-2020.html>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MEAD, L. M. "Public Policy: Vision, Potential, Limits", **Policy Currents**, fevereiro: 1-4. 1995.

MINHAT, Muzaireen *et al.* TacTalk: Talking Tactile Map for The Visually Impaired. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY (ICIT), 8, 2017. **Anais...** Malaysia, p. 475-481, 2017. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8080045/?reload=true>. Acesso em: 03 fev. 2025.

MOREIRA, Jonathan Rosa *et al.* AutoControl: uma proposta para acessibilidade e segurança residencial com o apoio da plataforma Arduino. **TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO**, v. 4, n. 1, p. 01-09, 2013. Disponível em:

https://www.academia.edu/65954325/AutoControl_uma_proposta_para_acessibilidade_e_seguran%C3%A7a_residencial_com_o_apoio_da_plataforma_Arduino. Acesso em: 08 fev. 2025.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Tradução: Eloá Jacobina. 21. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

MORIN. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Tradução: Eliane Lisboa. 5. ed. Porto Alegre: Sulina, 2015.

MOUNTELOS, Stavros. **Products beyond the hegemony of vision**: Design a toy for visually impaired children with emphasis on tactile and acoustic characteristics combining Braille and Alphabet learning. 2017. 122f. Dissertation (Master of Science (MSc) in Strategic Product Design)- School of Economics, Business Administration & Legal Studies. Disponível em: <https://repository.ihu.gr/items/02f52820-042e-4a94-b4ea-fe011a16815d/full>. Acesso em: 06 fev. 2025.

MUSSI, Andréa Quadrado *et al.* Arquitetura inclusiva: a planta tátil como instrumento de projeto colaborativo com portadores de deficiência visual. In: XX CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL. Buenos Aires, Argentina, 2016. **Anais...** Buenos Aires, Argentina: Blucher, 2016. p. 387-393. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311610125_Arquitetura_inclusiva_a_planta_tatil_como_instrumento_de_proyecto_colaborativo_com_portadores_de_deficiencia_visual. Acesso em: 06 fev. 2025.

NOGUEIRA, Ruth E. (Org.). **Geografia e inclusão escolar teoria e práticas**. Florianópolis: Edições do bosque, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/167474?show=full>. Acesso em: 02 fev. 2025.

NOGUEIRA, R. W. **Acesso à Justiça para pessoas com deficiência**. Revista Consultor Jurídico, 30 nov. 2012. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/img/b/inclusao.png>. Acesso em: 05 jan. 2024.

NORMAN, Donald A. **O design do dia-a-dia**. Rio de Janeiro: Rocco, 2006.

NORMANDI, Diego. **Design para acessibilidade**: inclusão de pessoas com deficiência visual ao serviço de cinema. 2016. 353 f. Dissertação (mestrado em Arquitetura) -Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-16022017-124050/pt-br.php>. Acesso em: 06 fev. 2025.

OEA. **Convenção da Guatemala**. Convenção Interamericana para a eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas Portadoras de Deficiência. Guatemala, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d3956.htm. Acesso em: 06 jan. 2024.

OLIVEIRA, Talitha Tomazetti Ribeiro de. **Estudo sobre a percepção acerca de aspectos geomorfológicos da paisagem pelo indivíduo com deficiência visual**. 2016. 79 f. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria–RS, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/11961/DIS_PPGGEOGRAFIA_2017_OLIVEIRA_TALITHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 06. fev. 2025.

ONU. **Declaração Universal dos Direitos humanos**. Adotada e proclamada pela resolução 217 A (III) da Assembleia Geral das Nações Unidas. Paris, França, 10 de dezembro de 1948. Disponível em: http://www.educacao.mppr.mp.br/arquivos/File/dwnld/educacao_basica/educacao%20infantil/legislacao/declaracao_universal_de_direitos_humanos.pdf. Acesso em: 05 jan. 2024

ONU. **Declaração Mundial sobre Educação para Todos**: satisfação das necessidades básicas de aprendizagem. Jomtien, Tailândia, 1990 Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000862/086291por.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

ONU. **Declaração de Salamanca**: Sobre Princípios, Políticas e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais. Salamanca, Espanha, 1994. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/salamanca.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2024.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**: Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 06 fev. 2024.

PERDUE, Nicholas A.; LOBBEN, Amy K. Understanding Spatial Pattern Cognition from Tactile Maps and Graphics. **Cartographica**, v. 51, n.2, p. 103–110. University of Toronto, 2016. Disponível em: <https://www.utpjournals.press/doi/abs/10.3138/cart.51.2.3129>. Acesso em: 02 fev. 2025.

PETERS, B. G. **American PublicPolicy**. Chatham, N.J.: ChathamHouse, 1986.

PIAGET, J. **A Epistemologia Genética**. Rio de Janeiro: Vozes, 1971.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software**: uma abordagem profissional. 7º ed. Porto Alegre: McGrawHill, 2011.

RADABAUGH, M. P. **Study on the Financing of Assistive Technology Devices of Services for Individuals with Disabilities** -A report to the president and the congress of the United State, National Council on Disability, Março 1993. Disponível em: <https://ncd.gov/publications/1993/mar41993>. Acesso em: 06 jan. 2024.

RÉGIS, Tamara de Castro. **Um estudo para elaboração de atlas municipal na perspectiva da educação geográfica inclusiva**: o atlas adaptado do município de Florianópolis. 2016. 267 f. Dissertação (mestre em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/168016>. Acesso em: 06. fev. 2025.

RELVAS, Marta Pires. **Fundamentos Biológicos da Educação**: despertando inteligências e afetividade no processo de aprendizagem humana. Rio de Janeiro: Wak Editora, 2008.

RELVAS, Marta Pires. **Neurociência na prática pedagógica**. Rio de Janeiro: Wak, 2012.

REPRAP. **Repositório para Graber i3**. 2021. Disponível em: https://reprap.org/wiki/Graber_i3/pt. Acesso em: 23 fev. 2025.

RIBEIRO, Marta Foeppel *et al.* As paisagens táteis enquanto recurso didático no ensino de geografia. **Aproximando**, Rio de Janeiro; vol. 2, n.3, 2016. Disponível em: <https://ojs.latic.uerj.br/ojs/index.php/aproximando/article/view/34>. Acesso em: 02 fev. 2025.

SÁ, E. D.; CAMPOS, M. I.; SILVA, M. B. C. **Atendimento educacional especializado. MEC/SEESP/2007**. 2007. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/aee_dv.pdf. Acesso em 23 set. 2024.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. **Diferenças entre célula animal e vegetal**. 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/diferencas-entre-celula-animal-vegetal.htm>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SARTORETTO, M. L.; BERSCH, R. **Tecnologia assistiva**. 2025. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>. Acesso em: 18 fev. 2025.

SAVINI, A., SAVINI, G. G. (2015). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. In **2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)** (pp. 1-8). IEEE. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7307314>. Acesso em: 08 fev. 2025.

SILVA JUNIOR, Elias dos Santos. 2018. **A Internet das Coisas e a Plataforma Arduino como Computação Embarcada em Mapas Táteis**: Uma avaliação dessa Tecnologia assistiva para o ensino das pessoas ouvintes com deficiência visual. Dissertação (Curso de Mestrado Profissional em Diversidade e Inclusão - CMPDI) Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7151041. Acesso em: 5 jan. 2024.

SILVA, Kelytha Cavalcante; ROCHA, Maraiza Lima da. A cartografia tátil na educação escolar. In: III CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UEG. Inovação: Inclusão Social e Direitos, v.3., 2016, Pirenópolis - Goiás.

Anais... Pirenópolis, CEPE, 2016. p. 1-5. Disponível em: <http://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/viewFile/7616/5110>. Acesso em: 07 fev. 2025.

SILVA, Patrícia Assis da. **O estudo da organização e representação espacial de alunos cegos para o ensino de conceitos cartográficos**. São João Del Rei–MG. 2017. 171 f. Dissertação (mestre em Geografia) - Universidade Federal de São João Del Rei, 2017. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgeog/Patricia.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2025.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 9.ed. São Paulo: Pearson, 2011.

SOUZA, Edileide Maria de *et al.* A cartografia escolar no primeiro ano do ensino fundamental: estudo de caso com estudantes videntes e com deficiência visual. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO INCLUSIVA E III JORNADA CHILENA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO INCLUSIVA. Campina Grande - PB, 2016. **Anais...** Pernambuco: Realize, 2016. p. 1-10. Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/cintedi/trabalhos/TRABALHO_EV060_MD1_SA4_ID2502_11102016080846.pdf. Acesso em: 06 fev. 2025.

SOUZA, Fábio. Arduíno UNO. **EMBARCADOS**. 02 mar. 2023. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br>. Acesso em: 08 fev. 2025.

SPINILLO, Alina Galvão; ROAZZI, Antônio. A atuação do psicólogo na área cognitiva: reflexões e questionamentos. Brasília, DF. *Psicol. cienc. prof.* 9 (3), 1989. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pcp/a/sNrX3Gh6CPmNxjJTb6q4LnH/>. Acesso em: 03 abr. 2025.

STAMPACH, Radim; MULICKOVA, Eva. Automated generation of tactile maps. **Journal of Maps**. v. 12, n. S1, 23 jun. p. 532–540, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2016.1196622>. Acesso em: 06 fev. 2025.

TALEB, Alexandre; FARIA, Marco Antônio Rey de; ÁVILA, Marcos; MELLO, Paulo Augusto de Arruda. **As Condições de Saúde Ocular no Brasil**. 1ª. Ed. São Paulo: 2012.

UNESCO. **Educação 2030**: Declaração de Incheon Rumo a uma educação de qualidade inclusiva e equitativa e à educação ao longo da vida para todos. Declaração de Incheon, Coreia do Sul: UNESCO, 2015. Disponível em: http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_civel/aa_ppdeficiencia/aa_ppd_educacaoinclusiva/Declara%C3%A7%C3%A3o%20de%20Incheon%20e%20Marco%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20-%20Educa%C3%A7%C3%A3o%202030.pdf. Acesso em: 05 fev. 2024.

VIVARTA, Veet (Coord.) **Mídia e deficiência**. Diversidade. Vol. 2. Andi; Fundação Banco do Brasil, 2003. Disponível em: https://andi.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Midia_e_deficiencia.pdf. Acesso em: 02 jan. 2024.

WALLAS, G. ***Art of thought***. London: Jonathan Cape, 1926.

WEISER, Mark. ***The computer for the 21st century***. **Scientific American**, v. 265, n. 3, p. 94–104, 1991. Disponível em: <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Weiser-SciAm.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

WIPO. World Intellectual Property Organization. **Marrakesh Treaty to Facilitate Access to Published Works for Persons Who are Blind, Visually Impaired or Otherwise Print Disabled**. Marraqueche, 2013. Disponível em: <http://www.wipo.int/wipolex/en/details.jsp?id=13169>. Acesso em 05 fev. 2024.

APÊNDICE A – O CRONOGRAMA DA PESQUISA

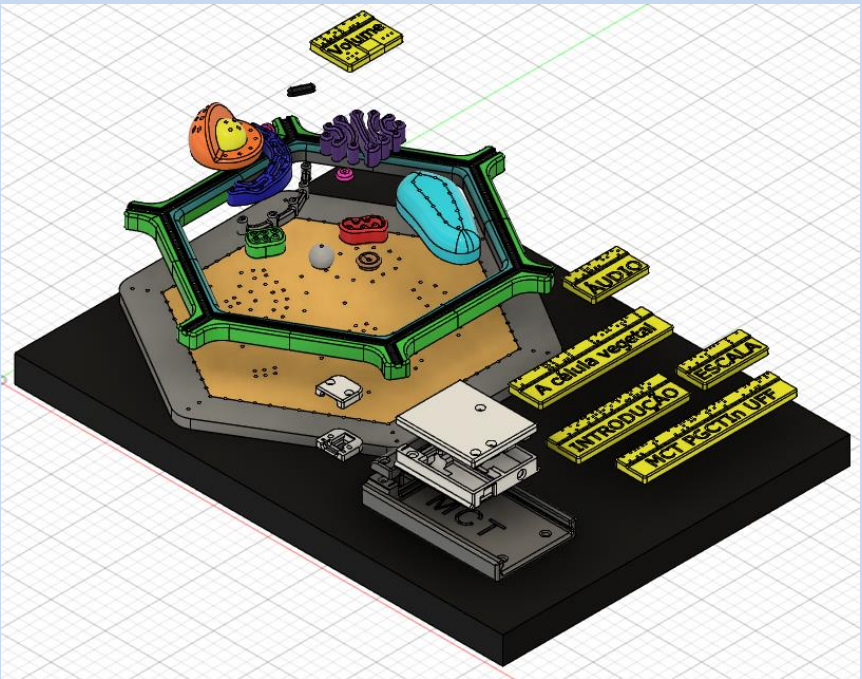
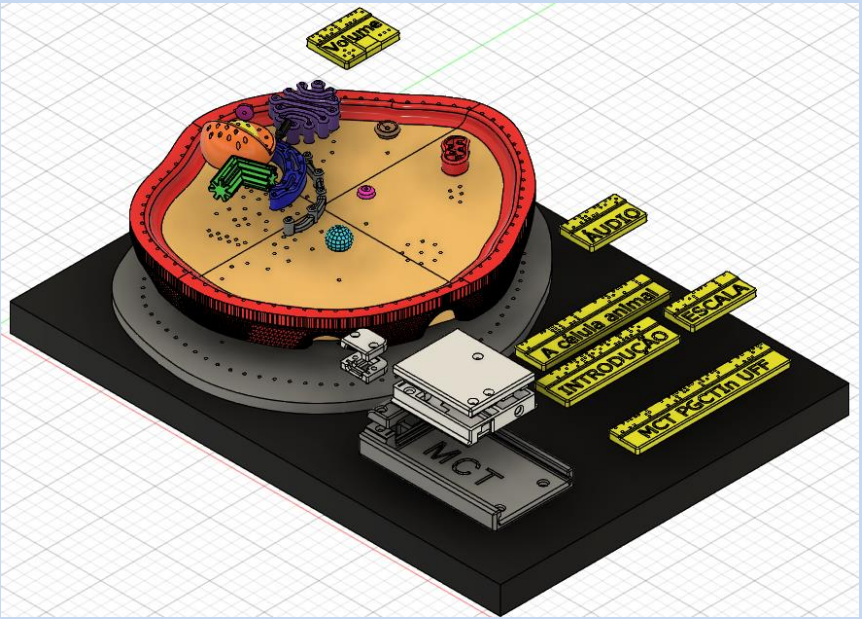
Itens	Atividades Acadêmicas	Data	Condição
01	Ingresso no Programa de Pós-graduação em Ciências Tecnologia e Inclusão – PGCTIn – UFF.	Ago. 2020	Aprovação da pesquisa pelo programa PGCTIn.
02	Início das disciplinas eletivas e obrigatórias.	2020/2	-
03	Seminário de Andamento da Pesquisa.	11/0/2022	Relatório de Andamento.
04	Submissão da pesquisa na Plataforma Brasil.	13/01/2023	Produção do relatório de pesquisa PLBR.
05	Aprovação pelo CEP UFF.	22/05/2023	Parecer CEP UFF.
06	Aprovação pelo CEP IBC.	03/07/2023	Parecer CEP IBC.
07	Aprovação pelo CEP CP2.	03/07/2023	Parecer CEP CP2.
08	Qualificação da pesquisa.	06/10/2023	Projeto de pesquisa.
09	Envio TCLE ao docente participante.	23/02/2024	Liberação do CP2.
10	TCLE assinado pelo docente.	07/03/2024	Envio do TCLE.
11	Envio do roteiro de entrevista livre para a definição das interfaces temáticas do MCT	07/03/2024	Assinatura do TCLE pelo docente.
12	FASE_01 da pesquisa de campo. A definição das interfaces temáticas. Células eucariontes animais e vegetais. Em atendimento parcial ao segundo objetivo específico da pesquisa.	03/04/2024	Retorno do roteiro de entrevista livre.
13	FASE_02 da pesquisa de campo. A construção das provas conceituais em atendimento definitivo ao segundo objetivo específico da pesquisa.	Abr. 2024	Término da FASE_01 .
14	FASE_03 da pesquisa de campo. A validação das interfaces temáticas experimentais pelo professor participante em atendimento parcial ao terceiro objetivo específico da pesquisa.	Jun. 2024	Término da FASE_02 .
15	FASE_04 da pesquisa de campo. A validação das interfaces temáticas experimentais pelo professor participante. Em atendimento definitivo ao terceiro objetivo específico da pesquisa.	Dez. 2024	Término da FASE_03 .

16	FASE_05 da pesquisa de campo. A avaliação das interfaces temáticas do MCT pelo professor participante. Em atendimento parcial ao quarto objetivo específico da pesquisa.	Dez. 2024	Término da FASE_04 .
17	FASE_06 da pesquisa de campo. A avaliação das interfaces temáticas do MCT pelos alunos com deficiência visual participantes. Em atendimento definitivo ao quarto objetivo específico da pesquisa.	Dez. 2024	Término da FASE_04 .
18	Organização dos metadados entregues como requisitos adquiridos na pesquisa de campo.	Dez. 2024	Término da FASE_06 .
19	Escrita da tese a partir dos dados obtidos até a qualificação da pesquisa.	Dez. 2024	Término da FASE_06 .
20	Tabulação dos dados obtidos na pesquisa de campo e término da versão da tese para o envio à banca avaliadora.	Mar. 2025	Término da FASE_06 .
21	Término das disciplinas eletivas e obrigatórias.	2025/1	-
22	Defesa de tese.	31/03/2025	A prontificação da tese.
23	Revisão final e depósito.	01/04/2025	Defesa da tese.

APÊNDICE B – OS CUSTOS QUE ENVOLVERAM A PESQUISA

Identificação de Orçamento	Valor em Reais (R\$)
Custo para o desenvolvimento do computador tátil aplicado ao MCT.	R\$ 1.930,95
Custo de um computador com configuração capaz de permitir a modelagem em 3D e a impressão das peças em 3D. Processador XEON de 28 núcleos e 32gb RAM.	R\$ 3.891,50
Custos das peças para o upgrade da impressora 3D Graber para Agraber e melhoria nos sistemas mecânicos, nos sensores, no monitoramento e na conexão e controle.	R\$ 4.669,47
Custo estimado dos materiais para o desenvolvimento das interfaces do MCT (MDF, tintas, lixas, colas, etc.)	R\$ 1.198,00
Custo de ferramentas para o desenvolvimento do hardware e das impressões em 3D.	R\$ 1.242,76
Custo de papelaria e impressão.	R\$ 1.442,00
Aquisição de uma Impressora 3D do tipo Graber.	R\$ 1.640,00
Custo estimado para o deslocamento do pesquisador para a pesquisa em campo.	R\$ 1.460,00
Custo de aquisição da impressora em 3D Ender 5 S1 da Creality	R\$ 2.653,96
Total em R\$	R\$ 20.128,64
Total em dólar, cotação comercial, em 14/03/2025, \$5,79	\$ 3.476,45

APÊNDICE C – REPOSITÓRIO DAS INTERFACES DO MCT EM 3D

Interface do MCT	Endereço portal EduCAPES
Modelo em 3D da Interface temática do MCT – Célula Eucarionte Vegetal Arquivos em formato para o Fusion 360.	 http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/984001
Modelo em 3D da Interface temática do MCT – Célula Eucarionte Animal Arquivos em formato para o Fusion 360.	 https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/984002

APÊNDICE D – MODELO DE TCLE DOCENTE

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E INCLUSÃO (PGCTIn)
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Título do Projeto: A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

Pesquisador Responsável: Elias dos Santos Silva Júnior

Orientador: Profa. Dra. Fabiana Leta **Coorientadora:** Profa. Dra. Ruth Maria Mariani Braz

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Universidade Federal Fluminense - UFF

Eu, _____
Professor(a) de _____ do _____, estou sendo convidado(a) a participar desse projeto de pesquisa que tem como objetivo o de avaliar e validar a computação tátil como uma Tecnologia Assistiva e como ferramenta educacional.

As entrevistas serão gravadas por meio do consentimento prévio dos participantes. Em caso de qualquer dúvida, impedimento ou dificuldade, o pesquisador deverá ler este documento e explicar de forma mais clara e objetiva os termos desta pesquisa para o melhor entendimento dos participantes e/ou responsáveis dos participantes.

O pesquisador apresentará diversos Mapas Táteis que possuem um sistema de computador que foi desenvolvido com o propósito de apoiar o ensino dos alunos com impedimentos visuais. O sistema permite somar os sentidos do tato e da audição na intenção de aumentar a autonomia e qualidade dos estudos desses discentes.

O processo de realização desta pesquisa será conduzido na unidade escolar durante os intervalos das aulas regulares sob a responsabilidade do pesquisador que conduzirá a pesquisa.

O papel do professor participante será o de utilizar o Mapa Tátil como ferramenta educacional e relatar ao pesquisador, através de entrevistas o quanto ele pode ser melhorado para cumprir com o seu objetivo e apontar os seus pontos positivos e negativos no processo de ensino/aprendizagem.

As entrevistas serão gravadas com o meu consentimento e ao registrar fotos não será exposto a identidade dos professores, somente dos mapas sendo manipulados pelos docentes.

Os dados pessoais são confidenciais e a sua privacidade será garantida, pois o pesquisador fará uso dos dados sem revelar a identidade dos participantes.

Os riscos que envolvem a pesquisa foram tratados e gerenciados no sentido de evitarmos quaisquer desconfortos, inclusive quaisquer constrangimentos que atinjam aos participantes por meio da manipulação dos materiais, das perguntas e dos questionários utilizados na pesquisa.

Os riscos de ordem física e de danos à saúde foram gerenciados ao ponto de serem extintos, pois os mapas táteis que serão manipulados pelos participantes são livres de características cortantes, farpas, pontiagudas; os componentes eletrônicos utilizados são livres de choque elétrico e os mapas táteis são desenvolvidos, artesanalmente, com materiais atóxicos que não agredem fisicamente ao participante e a sua saúde.

Ao assinar este termo o participante estará disposto a contribuir com a pesquisa que tem o intuito de construir novas Tecnologias Assistivas mais evoluídas, tecnologicamente, na produção de ferramentas educacionais mais eficientes e eficazes para o aprendizado dos discentes com impedimentos visuais.

O pesquisador está disponível para sanar qualquer dúvida em relação a esse projeto através do telefone do pesquisador responsável: _____ (Elias dos Santos Silva Júnior).

Deixamos claro que a participação é voluntária, não sendo remunerada e o docente poderá solicitar para ser retirado da pesquisa a qualquer tempo, sem qualquer prejuízo para o participante.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Sociais, Sociais Aplicadas, Humanas, Letras, Artes e Linguística (CEP Humanas UFF) no endereço: (Rua Passo da Pátria, 156 - São Domingos - Niterói, Rio de Janeiro. Campus da Praia Vermelha da UFF - Instituto de Física (torre nova - 3º andar). Telefone: (21) 2629-5119. E-mail: cephumanasuff@gmail.com

Declaro estar ciente e concordar em participar do projeto de pesquisa acima descrito.

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____.

Docente Participante

Pesquisador Responsável

APÊNDICE E – MODELO DE TALE DISCENTE

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E INCLUSÃO (PGCTIn)
TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TALE

Título do Projeto: A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

Pesquisador Responsável: Elias dos Santos Silva Júnior

Orientador: Profa. Dra. Fabiana Leta **Coorientadora:** Profa. Dra. Ruth Maria Mariani Braz

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Universidade Federal Fluminense – UFF

Nome do estudante voluntário: _____

Série: _____ **Instituição de ensino:** _____

Olá estudante, você está sendo convidado(a) para participar da pesquisa que o Professor Elias Junior está fazendo com a ajuda da Professora Ruth Mariani e a Professora Fabiana Leta.

As entrevistas serão gravadas por meio do consentimento prévio dos participantes. Em caso de qualquer dúvida, impedimento ou dificuldade, o pesquisador deverá ler este documento e explicar de forma mais clara e objetiva os termos desta pesquisa para o melhor entendimento dos participantes e/ou responsáveis dos participantes.

Nesta pesquisa, vamos avaliar a computação tátil como Tecnologia Assistiva e como ferramenta educacional que possam ajuda-los a estudarem melhor.

Nós vamos apresentar a você diversos Mapas Táteis que possuem um sistema de computador que permite facilitar o seu estudo por meio de um sistema que utiliza o tato e a audição para aumentar a autonomia e qualidade ao estudar as matérias da escola.

A pesquisa será realizada na sua escola e durante os intervalos das aulas ou no contraturno escolar, com o acompanhamento dos seus professores e sob a responsabilidade do Professor Elias Junior como pesquisador.

Após estudar com os mapas você dará a sua opinião sobre a sua experiência por meio de entrevistas. Será perguntado o quanto esses mapas podem ser melhorados para lhe ajudar a entender as matérias escolares.

Nós iremos gravar a sua fala, e fazer o registro da utilização dos mapas com fotos, mas a sua identidade será preservada, pois não iremos direcionar o foco para os rostos de vocês estudantes, focaremos nos mapas que serão estudados.

Utilizaremos os dados produzidos na pesquisa, mas não identificaremos o seu nome, a sua identidade e muito menos os seus dados pessoais, portanto o sigilo será total.

Os riscos que envolvem a pesquisa foram tratados e gerenciados no sentido de evitarmos quaisquer desconfortos, inclusive quaisquer constrangimentos que atinjam aos participantes por meio da manipulação dos materiais, das perguntas e dos questionários utilizados na pesquisa.

Os riscos de ordem física e de danos à saúde foram gerenciados ao ponto de serem extintos, pois os mapas táteis que serão manipulados pelos participantes são livres de características cortantes, farpas, pontiagudas; os componentes eletrônicos utilizados são livres de choque elétrico e os mapas táteis são desenvolvidos, artesanalmente, com materiais atóxicos que não agredem fisicamente ao participante e a sua saúde.

Ao assinar este termo você estará contribuindo com a pesquisa que tem o objetivo de construir novas Tecnologias Assistivas para os alunos com impedimento visual.

O pesquisador estará disponível para sanar qualquer dúvida em relação à pesquisa, através do telefone do pesquisador responsável: (21) 2629-5119 (Elias dos Santos Silva Júnior).

Deixamos claro que a participação é voluntária, não sendo remunerada e você poderá deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem qualquer prejuízo para você como estudante.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Sociais, Sociais Aplicadas, Humanas, Letras, Artes e Linguística (CEP Humanas UFF) no endereço: (Rua Passo da Pátria, 156 - São Domingos - Niterói, Rio de Janeiro. Campus da Praia Vermelha da UFF - Instituto de Física (torre nova - 3º andar). Telefone: (21) 2629-5119. E-mail: cephumanasuff@gmail.com

Na assinatura deste termo, declaro estar ciente e concordar em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____

Estudante Participante

Pesquisador Responsável

APÊNDICE F – MODELO DE TCLE DOS RESPONSÁVEIS

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E INCLUSÃO (PGCTIn)
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

Título do Projeto: A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.

Pesquisador Responsável: Elias dos Santos Silva Júnior
Orientador: Profa. Dra. Fabiana Leta Coorientadora: Profa. Dra. Ruth Maria Mariani Braz
Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Universidade Federal Fluminense - UFF

Eu, _____
responsável legal do(a) estudante _____
que cursa o _____ ano/série no _____
autorizo o mesmo a participar desse projeto de pesquisa que tem como objetivo o de validar e avaliar a computação tátil como uma Tecnologia Assistiva e ferramenta educacional.

As entrevistas serão gravadas por meio do consentimento prévio dos participantes. Em caso de qualquer dúvida, impedimento ou dificuldade, o pesquisador deverá ler este documento e explicar de forma mais clara e objetiva os termos desta pesquisa para o melhor entendimento dos participantes e/ou responsáveis dos participantes.

O pesquisador apresentará Mapas Táteis que possuem um sistema de computador que foi desenvolvido com o propósito de apoiar o ensino dos discentes com impedimentos visuais. O sistema permite somar os sentidos do tato e da audição na intenção de aumentar a autonomia e qualidade dos estudos desses discentes.

O processo de realização desta pesquisa será conduzido na unidade escolar durante os intervalos das aulas regulares ou no contraturno escolar, com o acompanhamento dos professores da escola e sob a responsabilidade do pesquisador que conduzirá a pesquisa.

O papel do participante será o de utilizar o Mapa Tátil como ferramenta educacional e relatar ao pesquisador, através de entrevistas o quanto ele pode ser melhorado para cumprir com o seu objetivo e apontar os seus pontos positivos e negativos no processo de ensino/aprendizagem.

As entrevistas serão gravadas com a autorização do discente e ao registrar fotos não iremos expor a identidade do discente, pois somente as imagens dos mapas sendo estudados serão registradas.

Os dados pessoais dos participantes são confidenciais e a privacidade do discente será garantida, pois o pesquisador fará uso dos dados sem revelar a identidade dos voluntários.

Os riscos que envolvem a pesquisa foram tratados e gerenciados no sentido de evitarmos quaisquer desconfortos, inclusive quaisquer constrangimentos que atinjam aos participantes por meio da manipulação dos materiais, das perguntas e dos questionários utilizados na pesquisa.

Os riscos de ordem física e de danos à saúde foram gerenciados ao ponto de serem extintos, pois os mapas táteis que serão manipulados pelos participantes são livres de características cortantes, farpas, pontiagudas; os componentes eletrônicos utilizados são livres de choque elétrico e os mapas táteis são desenvolvidos, artesanalmente, com materiais atóxicos que não agredem fisicamente ao participante e a sua saúde.

Ao assinar este termo o voluntário estará disposto a contribuir com a pesquisa que tem o intuito de construir novas Tecnologias Assistivas e mais evoluídas, tecnologicamente, na produção de ferramentas educacionais mais eficientes e eficazes para o aprendizado dos discentes com impedimentos visuais.

O pesquisador estará disponível para sanar qualquer dúvida em relação a esse projeto através do telefone do pesquisador responsável _____ (Elias dos Santos Silva Júnior).

Deixamos claro que a participação é voluntária, não sendo remunerada e o discente voluntário poderá solicitar a sua retirada da pesquisa em qualquer tempo, sem qualquer prejuízo para o voluntário.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Sociais, Sociais Aplicadas, Humanas, Letras, Artes e Linguística (CEP Humanas UFF) no endereço: (Rua Passo da Pátria, 156 - São Domingos - Niterói, Rio de Janeiro. Campus da Praia Vermelha da UFF - Instituto de Física (torre nova - 3º andar). Telefone: (21) 2629-5119. E-mail: cephumanasuff@gmail.com

Declaro concordar em permitir a participação do estudante, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____.

Responsável legal do estudante ou
estudante maior de idade

Pesquisador Responsável

ANEXO A – DECLARAÇÃO DE MATRÍCULA UFF



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU DOUTORADO EM CIÊNCIAS,
TECNOLOGIAS E INCLUSÃO

DECLARAÇÃO

Declaramos, para os devidos fins, que **Elias Dos Santos Silva Junior**, matriculado sob nº D058.220.002 (ano de 2020) no Curso de Pós-Graduação em STRICTO SENSU - DOUTORADO EM CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E INCLUSÃO da UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, encontra-se na situação INSCRITO.



Universidade
Federal
Fluminense

Niterói 15 de Março de 2025 às 01:21:58

Para verificar a autenticidade deste documento, acesse https://app.uff.br/sispos/acessoaluno/validar_declaracao

FE5C.3F7A.EB08.E41D



Este documento foi gerado pelo Sistema Acadêmico de Pós-Graduação da Universidade Federal Fluminense - Sispos.
ATENÇÃO: Essa declaração foi assinada eletronicamente, portanto, não necessita assinatura manual.

ANEXO B – A PLATAFORMA BRASIL

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA	
Título da Pesquisa: A COMPUTAÇÃO TÁTIL COMO TECNOLOGIA ASSISTIVA NA DEFICIÊNCIA VISUAL: Os limites e as possibilidades de um modelo computacional tátil em apoiar o ensino e a aprendizagem dos alunos com deficiência visual.	
Pesquisador Responsável: ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	
Área Temática:	
Versão: 3	
CAAE: 66942923.1.0000.8160	
Submetido em: 05/05/2023	
Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação Em Ciências, Tecnologias e Inscusão	
Situação da Versão do Projeto: Aprovado	
Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável	
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio	


Comprovante de Recepção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_2015804

UNIVERSIDADE FEDERAL
FLUMINENSE HUMANAS - UFF



Continuação do Parecer: 6.071.446

Outros	05_CARTA_RESPOSTA_II_v6.docx	05/05/2023 03:49:18	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA_DE_ROSTO_PL_BR_MODIFICADO_v4.pdf	20/03/2023 13:50:37	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Outros	DECLARACAO_DE_REGULARIDADE.pdf	13/01/2023 01:30:04	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Outros	CARTA_DE_APRESENTACAO_DO_ORIENTADOR.pdf	13/01/2023 01:29:18	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Outros	DECLARACAO_DE_ANUENCIA_NITEROI.pdf	13/01/2023 01:24:25	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Outros	DECLARACAO_DE_ANUENCIA_CP2.pdf	13/01/2023 01:19:49	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito
Outros	DECLARACAO_DE_ANUENCIA_IBC.pdf	13/01/2023 01:19:22	ELIAS DOS SANTOS SILVA JUNIOR	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

NITEROI, 22 de Maio de 2023

Assinado por:
MONICA MARIA GUIMARAES SAVEDRA
(Coordenador(a))