

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELE BEAL

BRaille-CM-TUI: AMBIENTE DE APOIO À CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO VIA
MAPAS CONCEITUAIS POR ESTUDANTES COM CEGUEIRA

CURITIBA PR

2020

FRANCIELE BEAL

BRAILLE-CM-TUI: AMBIENTE DE APOIO À CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO VIA
MAPAS CONCEITUAIS POR ESTUDANTES COM CEGUEIRA

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação no Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Laura Sánchez García.

CURITIBA PR

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE – SIBI/UFPR

B366b Beal, Franciele

Braille-CM-TUI: ambiente de apoio à construção de conhecimento via mapas conceituais por estudantes com cegueira [recurso eletrônico]/ Franciele Beal - Curitiba, 2020.

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: Ciência da Computação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Laura Sánchez García

1. Acessibilidade. 2. Inclusão digital. 3. Pessoas com necessidade especiais. 4. Cegueira. I. Garcia, Laura Sánchez. II. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDD 303.4833

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FRANCIELE BEAL** intitulada: **Braille-CM-TUI: Ambiente de Apoio à Construção de Conhecimento via Mapas Conceituais por Estudantes com Cegueira**, sob orientação da Profa. Dra. LAURA SANCHEZ GARCIA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Dezembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

14/12/2020 12:01:13.0

LAURA SANCHEZ GARCIA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

17/12/2020 10:52:16.0

ANDRÉ LUIZ PIRES GUEDES

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

17/12/2020 12:56:48.0

DANIELA DE FREITAS GUILHEMINO TRINDADE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

14/12/2020 13:16:56.0

JULIANA BUENO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

14/12/2020 15:50:38.0

MÁRCIA VALÉRIA RODRIGUES FERREIRA

Avaliador Externo (CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS)

Dedido este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida: Alícia, Aimê e Celso.

AGRADECIMENTOS

Um sonho foi realizado e isso só foi possível com o apoio e a colaboração de muitos, por isso, eu agradeço...

Em primeiro lugar, a Deus.

As minhas filhas Alícia e Aimê que nasceram junto com o doutorado. Eu amo vocês!

Ao meu companheiro Celso pelo amor, cuidado, apoio e paciência comigo em todos os momentos. Obrigada por você estar ao meu lado.

Aos meus pais que não mediram esforços para me ajudar a conquistar esse sonho e pelos cuidados que tiveram com as minhas filhas nesse período.

A Professora Laura pela oportunidade, pela confiança, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pelo suporte, pela compreensão, pelo carinho e pela paciência que teve comigo durante esses 4 anos e meio de período de doutoramento. Você é uma pessoa incrível! Sou grata por tê-la como minha mãe acadêmica.

Ao Programa de Pós-graduação em Informática da UFPR pela oportunidade de cursar o doutorado.

A UTFPR que oportunizou e viabilizou esse aperfeiçoamento tão importante e necessário para a minha carreira docente na universidade.

As instituições co-participantes que acreditaram no projeto e abriram suas portas, CAP de Francisco Beltrão-PR, Escola Municipal Professora Verônica da Silva Pietta da cidade de Nova Prata do Iguazu-PR e a Escola Estadual Alto da Glória da cidade de Palmas-PR.

As professoras especializadas que participaram da pesquisa, pelo acolhimento, pela disponibilidade, pela colaboração, pelo suporte e pelo compartilhamento de conhecimento. Vocês são especiais e fazem toda a diferença na vida de seus alunos.

Aos estudantes pelo acolhimento, pelo interesse, pela dedicação, pelo carinho e pelos momentos alegres que tivemos juntos durante nossos encontros. Vocês me dão forças para continuar desenvolvendo pesquisas voltadas ao desenvolvimento e a inclusão social.

Aos meus colegas de doutorado da UTFPR-DV e UTFPR-PB, pela força e pelo apoio. Um agradecimento especial ao André, Evandro, Marlon e Newton, colegas da UTFPR-DV, com os quais pude dividir alegrias, frustrações e até mesmo dúvidas técnicas.

Aos colegas do grupo de pesquisa IHC-UFPR que de alguma maneira contribuíram com esse trabalho.

Enfim, a todos que me incentivaram e torceram por mim. Muito obrigada!

RESUMO

Um fenômeno crescente tem gerado consequências negativas na educação dos cegos. Trata-se da "desbrailização" que consiste na substituição do sistema braille por tecnologias de áudio tais como o livro falado e os textos digitalizados que podem ser ouvidos por meio de sintetizadores de voz. Muitos cegos não querem mais ler o braille. Com as tecnologias de áudio o cego tem acesso a qualquer tipo de texto e ficou mais fácil ouvir do que ler em braille. Além disso, muitos cegos dizem que o braille não faz parte do dia a dia das pessoas videntes e que, com as tecnologias de áudio, eles podem ser incluídos nas escolas regulares com maior facilidade. Nesta situação, muitos cegos não querem mais ler o braille deixando de lado o seu sistema de escrita e leitura o que, para os estudiosos do letramento em braille, determina uma limitação significativa no gozo de sua cidadania. Por outro lado, técnicas como os mapas conceituais não são ensinados aos cegos por serem considerados não acessíveis a eles. Neste contexto, foi proposto um ambiente de usuário tangível para estudantes com cegueira construírem mapas conceituais usando o braille, o Braille-CM-TUI, numa tentativa de combater a desbrailização e apoiar a adoção de mapas conceituais por estudantes cegos. Esse ambiente possui uma interface tangível com elementos braille para a construção de mapas conceituais e uma ferramenta de autoria para o professor criar sequências didáticas de atividades de mapas conceituais. O ambiente foi desenvolvido com base em revisão de literatura e na sequência foi levado para dentro de duas escolas para a sua avaliação e aprimoramento por professoras especializadas e estudantes com cegueira, por meio de um processo de pesquisa-ação. Os estudantes cegos participaram de uma oficina para aprender o conceito de mapas conceituais. Duas professoras especializadas receberam um treinamento sobre mapas conceituais e fizeram a avaliação do Braille-CM-TUI de forma remota. O método de avaliação empírico foi usado para a coleta de dados qualitativos. Os resultados da oficina mostraram que os estudantes cegos tinham condições de se apropriar e de fazer o uso de mapas conceituais. Os resultados das avaliações remotas realizadas pelas professoras, obtidos a partir de observação e coleta de opinião, mostraram uma avaliação positiva para o Braille-CM-TUI e para a ferramenta de autoria. Foram identificadas possibilidades de melhorias que serão implementadas em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Interface Tangível, Mapas Conceituais, Braille, Letramento, Estudantes com cegueira, Estudantes cegos

ABSTRACT

A growing phenomenon has caused negative consequences on blind education. This is the "desbrailização" (the process of braille disuse) that consists of replacing the braille system with audio technologies such as the spoken book and digitized texts that can be heard using speech synthesizers. Many blind people no longer want to read braille. With audio technologies, the blind person has access to any text type, and it is easier to hear than to read in braille. Also, many blind people say that braille is not part of the daily life of visionary people and with audio technologies, they can be included in regular schools more easily. In this situation, many blind people no longer want to read braille, leaving aside their writing and reading system, which, for students of braille literacy, determines a significant limitation in their citizenship enjoyment. On the other hand, techniques such as concept maps are not taught to the blind because they are considered not accessible to them. In this context, a tangible user environment has been proposed for students with blindness to build concept maps using braille, the Braille-CM-TUI, in an attempt to combat the braille disuse. This environment has a tangible interface with braille elements for the construction of concept maps and an authoring tool for the teacher to create didactic sequences of concept map activities. The environment was developed based on a literature review and was subsequently taken to two schools for its evaluation and improvement by specialized teachers and students with blindness, through an action research process. Blind students participated in a workshop to learn the concept of concept maps. Two specialized teachers received training on concept maps and remotely evaluated Braille-CM-TUI. The empirical evaluation method was used to collect qualitative data. The results of the workshop showed that blind students were able to appropriate and make use of concept maps. The results of the remote assessments carried out by the teachers, obtained from observation and opinion collection, showed a positive assessment for Braille-CM-TUI and the authoring tool. Improvement possibilities have been identified that will be implemented in future works.

Keywords: Tangible User Interface, TUI, Concept Maps, Braille, Literacy, Blind Student

LISTA DE FIGURAS

2.1	Cela braille (Fonte: a autora)..	22
2.2	Alfabeto da Língua Portuguesa em braille (Fonte: a autora).	23
2.3	Números de 0 a 9 em braille (Fonte: a autora)..	23
2.4	Reglete com punção e prancheta (a) e a máquina braille (b) (Fonte: Loja Civiam (2020)).	24
3.1	Exemplo de mapa conceitual e seus componentes (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 1)).	28
4.1	Exemplos de TUI (Fonte: figura (a) adaptada de Carbajal et al. (2015), figura (b) adaptada de Jafri et al. (2017) e figura (c) adaptada de Topobo (2018))	35
4.2	Quantidade de publicações por ano (Fonte: Beal e García (2019, Fig. 1, p. 1135)).	36
4.3	Resposta da QP1 (Fonte: Beal e García (2019))	37
4.4	Resposta da QP2 (Fonte: Beal e García (2019))	38
4.5	Atividades apoiadas pelos trabalhos do Grupo 1 (Fonte: Beal e García (2019)). .	39
5.1	Visão geral do framework conceitual do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora). . . .	42
5.2	Representação das informações de uma sequência didática na ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	44
5.3	Criando uma Sequência Didática (SD) na ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	45
5.4	Imprimir uma atividade em braille (Fonte: a autora).	46
5.5	Mapa Conceitual na forma de texto para impressão em braille (Fonte: a autora). .	46
5.6	Protótipo de TUI de Sánchez García et al. (2016) (Fonte: Sánchez García et al. (2016, Fig. 1)).	47
5.7	Jogo de peças de encaixar (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 2)).	48
5.8	Variações das peças do tipo conector (Fonte: a autora).	49
5.9	Protótipo de TUI mínima em EVA e MDF de Forcelini et al. (2018) (Fonte: Forcelini et al. (2018, Fig. 2, p. 43))	49
5.10	Realizar uma atividade no Braille-CM-TUI (Fonte: a autora)..	51
5.11	Representação das informações da resposta da uma atividade (Fonte: a autora). .	53
5.12	Tarefa Capturar CM (Fonte: a autora).	56
5.13	Tarefa validar o CM (Fonte: a autora).	56
5.14	Tarefa Ler o CM (Fonte: a autora).	57
5.15	Tarefa validar a atividade (Fonte: a autora).	58
5.16	Protótipo do teclado da TUI (Fonte: a autora)..	61

5.17	Protótipo das telas da ferramenta de autoria para "Criar uma sequência didática" (Fonte: a autora).	62
5.18	Protótipo da tela "Realizar uma atividade" da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	64
5.19	Imprimir uma atividade na ferramenta de autoria via Braille Fácil (Fonte: a autora).	65
6.1	Ciclo da Pesquisa-Ação (Fonte: Adaptado de Gerald Susman e Roger Evered (1978, p. 588).	70
6.2	Dimensões e afirmações avaliadas no questionário para coleta de opinião sobre o Braille-CM-TUI para o Professor (Fonte: Adaptado de Brooke (1996), Petri et al. (2016) e Petri et al. (2017))	73
6.3	Dimensões e afirmações avaliadas no questionário para coleta de opinião sobre a ferramenta de autoria para o Professor (Fonte: Adaptado de Brooke (1996), Petri et al. (2016) e Petri et al. (2017))	73
7.1	Levantamento de conceitos-chave sobre o tema Terremoto pelo AL3 e Argentina pelo AL2 (Fonte: a autora)..	75
7.2	Mapas conceituais sobre o tema Terremoto pelo AL3 e Argentina pelo AL2 (Fonte: a autora).	77
7.3	Simulação do uso da nova regra de posicionamento dos conectores (Fonte: a autora).	77
7.4	Mapas conceituais construídos por AL1 e AL3 para a atividade 3 (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 5)).	78
7.5	Mapa da atividade 4 e o texto produzido pelo AL2 (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 6)).	78
7.6	Mapa sobre Tsunami produzido pela P3 (Fonte: a autora)..	80
7.7	Mapa sobre Tsunami refeito por P3 após o segundo encontro (Fonte: a autora).	81
7.8	Mapa conceitual sobre Tsunami construído por P4 (Fonte: a autora).	82
7.9	Mapa conceitual sobre Tsunami reconstruído por P4 (Fonte: a autora).	83
7.10	Avaliação sobre satisfação do usuário da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	84
7.11	Avaliação sobre usabilidade/aprendizibilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	84
7.12	Avaliação sobre usabilidade/operabilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	84
7.13	Avaliação sobre usabilidade/acessibilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	85
7.14	Avaliação sobre usabilidade/proteção de erro do usuário da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	85
7.15	Avaliação sobre percepção da utilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).	85
7.16	Avaliação sobre satisfação do usuário do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	86
7.17	Avaliação sobre usabilidade/estética do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	86

7.18	Avaliação sobre usabilidade/aprendizibilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	86
7.19	Avaliação sobre usabilidade/operabilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora)..	86
7.20	Avaliação sobre usabilidade/acessibilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	87
7.21	Avaliação sobre usabilidade/proteção do erro do usuário do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	87
7.22	Avaliação sobre percepção a respeito da utilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).	87

LISTA DE TABELAS

3.1	Requisitos para o design de ambiente de usuário para pessoas com cegueira construir mapas conceituais (Fonte: a autora)	31
4.1	Comparativo entre as tecnologias para implementação de TUI (Fonte: Adaptado de Shaer e Hornecker (2009, Tab. 7.1, p. 80)).. . . .	34
4.2	Requisitos para o design de TUI para pessoas com cegueira (Fonte: Beal e García (2019, p. 1136-1137)).	40
6.1	Características e Aspectos Gerais de PA (Fonte: Adaptado de Sandín Esteban (2010) e Thiollent (2011))	69

LISTA DE ACRÔNIMOS

AEE	Atendimento Educacional Especializado
AFL	Associação Francesa pela Leitura
Braille-CM-TUI	Braille - Concept Maps - Tangible User Interface
CAEE	Centro de Atendimento Educacional Especializado
CAP	Centro de Apoio Pedagógico de Atendimento à Pessoas com Deficiência Visual
CBO	Conselho Brasileiro de Oftalmologia
CEP/SD	Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos
CM	Concept Maps
GUI	Interfaces Gráfica de Usuário
IBC	Instituto Benjamin Constant
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHC	Interação Humano-Computador
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
JSON	JavaScript Object Notation
LVD	Letramento pela Via Direta
MEC	Ministério da Educação
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSL	Mapeamento Sistemático de Literatura
NVDA	NonVisual Desktop Access
OCR	Optical Character Recognition
OMS	Organização Mundial da Saúde
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
PA	Pesquisa-Ação
PDI	Processamento Digital de Imagens
PLN	Processamento de Linguagem Natural
PPGInf	Programa de Pós-Graduação em Informática
RFID	Radio Frequency Identification
SD	Sequência Didática
SRM	Sala de Recursos Multifuncionais
STI	Sistema Tutor Inteligente
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TICLE	Tangible Interface Collaborative Learning Environment

TUI
UFPR

Tangible User Interface
Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	PREMISSAS	16
1.3	HIPÓTESES DA PESQUISA	18
1.4	QUESTÕES DA PESQUISA	18
1.5	OBJETIVOS	18
1.6	METODOLOGIA	19
1.7	ORGANIZAÇÃO DA TESE	19
2	A EDUCAÇÃO DE CEGOS	20
2.1	ALFABETIZAÇÃO <i>VERSUS</i> LETRAMENTO	20
2.1.1	O Letramento pela Via Direta	21
2.1.2	O Letramento dos Cegos	22
2.2	O CÓDIGO BRAILLE	22
2.3	A DESBRAILIZAÇÃO	25
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	26
3	MAPAS CONCEITUAIS E SEU USO COM ESTUDANTES COM CEGUEIRA E BAIXA VISÃO	27
3.1	OS MAPAS CONCEITUAIS	27
3.2	POSSIBILIDADES DE USO DOS MAPAS CONCEITUAIS EM SALA DE AULA	29
3.3	TRABALHOS SOBRE MAPAS CONCEITUAIS COM ESTUDANTES COM CEGUEIRA OU COM DEFICIÊNCIA VISUAL	30
3.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	31
4	INTERFACES TANGÍVEIS PARA APOIAR O LETRAMENTO BRAILLE	32
4.1	INTERFACES TANGÍVEIS	32
4.2	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE TUI PARA O ENSINO DO BRAILLE DE BEAL E GARCÍA (2019)	35
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	41
5	O AMBIENTE CRIADO	42
5.1	BRAILLE-CM-TUI	42
5.1.1	A Ferramenta de Autoria	43
5.1.2	A Interface Tangível de Usuário	47

5.2	REQUISITOS QUE ORIENTARAM O DESIGN	59
5.3	O PROTÓTIPO	60
5.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.	66
6	A PESQUISA-AÇÃO	67
6.1	ASPECTOS ÉTICOS	67
6.2	OS PARTICIPANTES	67
6.3	O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA-AÇÃO	68
6.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.	74
7	RESULTADOS DIVERSOS	75
7.1	RESULTADOS DA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSI- NAR MAPAS CONCEITUAIS	75
7.2	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REMOTOS	80
7.3	RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS VIA QUESTIONÁ- RIOS	83
7.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.	89
8	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.	91
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICES.	101
	APÊNDICE A: Questionário para coleta de opinião sobre a ferramenta de autoria para professores.	102
	APÊNDICE B: Questionário para coleta de opinião sobre o Braille-CM-TUI para professores.. . . .	104
	APÊNDICE C: Sequência Didática sobre o conto Negócio de menino com menina.	106
	APÊNDICE D: Mapeamento Sistemático sobre Interfaces Tangíveis para apoiar o ensino do Braille.	110
	APÊNDICE E: Introduzindo Mapas Conceituais para estudantes com ce- gueira via recursos tangíveis.	120

1 INTRODUÇÃO

Esta tese apresenta um projeto de pesquisa que levou à criação de um artefato computacional com interação tangível para estudantes com cegueira construírem Mapas Conceituais (Novak e Cañas, 2006). O ambiente foi pensando, projetado e desenvolvido para tornar os mapas conceituais acessíveis aos cegos e fornecer uma interação mais natural que explora os sentidos do tato, da audição e o uso do braille.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 39 milhões de pessoas em todo o mundo são cegas e que 246 milhões tem deficiência visual. De acordo com o relatório “As Condições da Saúde Ocular no Brasil 2019”, elaborado pelo Conselho Brasileiro de Oftalmologia (CBO), que é baseado em dados de relatórios da OMS e índices do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estima que no Brasil, 1.577.016 de indivíduos sejam cegos, o equivalente a 0,75% da população (Almeida, 2019).

A cegueira é uma deficiência visual caracterizada pela privação do sentido da visão. Existem dois tipos de deficiência visual: cegueira e baixa visão. As duas formas mais utilizadas para avaliar a capacidade visual são: a acuidade e o campo visual. A acuidade está relacionada à discriminação de formas e o campo visual está relacionado à capacidade de percepção da amplitude dos estímulos. De acordo com a Portaria nº 3.128, de 24 de dezembro de 2008 do Ministério da Saúde, um indivíduo é considerado com baixa visão quando o valor da acuidade visual corrigida no melhor olho é menor do que 0,3 e maior ou igual a 0,05 ou seu campo visual é menor do que 20º no melhor olho com a melhor correção óptica e considerado cego quando esses valores encontram-se abaixo de 0,05 ou o campo visual menor do que 10º. Segundo Menescal Conde (2020), pedagogicamente definiu-se como indivíduo cego aquele que necessita de instruções braille (sistema de leitura e escrita por pontos em relevo) e com baixa visão aquele que lê tipos impressos ampliados ou com o auxílio de potentes recursos ópticos.

Sobre a educação dos cegos no Brasil, com a adoção do Programa Escola Inclusiva (Ministério da Educação, 2008) as crianças cegas estão sendo matriculadas em escola regular. De acordo com os dados do Censo Escolar de 2019 realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) (INEP, 2020) 92,8% dos alunos da educação especial (com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento ou altas habilidades) estão incluídos em classes comuns no ensino regular. Somente uma pequena parcela é atendida em centros especializados.

Para atender às especificidades dos estudantes com cegueira é fornecido o Atendimento Educacional Especializado (AEE) (Ministério da Educação et al., 2009). A função do AEE é viabilizar ou suplementar a formação desses estudantes por meio do ensino do braille, materiais didáticos adequados e estratégias para o desenvolvimento de sua aprendizagem. Esse atendimento é realizado no contra-turno por professores da Educação Especial. Geralmente acontece em Sala de Recursos Multifuncionais (SRM) na própria escola, mas pode ocorrer em outro centro especializado.

O braille (American Foundation for the Blind, 2019) é o sistema de escrita e leitura em relevo utilizado pelas pessoas com cegueira. Na última década, porém, um fenômeno chamado de “desbrailização” (Batista et al., 2018) vem gerado consequências negativas na educação dos cegos. Trata-se da sub-utilização do sistema, ou, ainda mais séria, da sua substituição por tecnologias

de áudio tais como o livro falado e os textos digitalizados que podem ser ouvidos por meio de sintetizadores de voz chamados de leitores de tela. É importante registrar que nem os autores que cunharam o termo “desbrailização” nem a autora desta tese deixam de ter ciência dos benefícios tecnológicos que promovem a acessibilidade. No entanto, estudiosos do letramento em braille defendem o método como único passaporte para o gozo da cidadania plena pelas pessoas com cegueira (Batista et al., 2018).

Além desta, existem outras situações que afetam negativamente a educação dos estudantes com cegueira. Um exemplo é a ideia de que os mapas conceituais não são acessíveis às pessoas com cegueira devido à sua natureza gráfica e visual, que determina a sua não apropriação pelos professores com elas. Porém, foram identificados trabalhos na literatura (Sanchez e Flores, 2010) e (Kachhap e Mane, 2019) que mostram que, com adaptações, é possível tornar os mapas conceituais acessíveis aos cegos. Nesta tese é apresentado um ambiente de usuário com interação tangível para estudantes com cegueira construírem mapas conceituais usando o braille. Acredita-se que o ambiente possa contribuir para a construção do conhecimento pelos estudantes com cegueira e para o resgate do uso do braille por estes estudantes.

O público-alvo deste trabalho era constituído de: (1) Professores com fluência em braille e (2) Estudantes com cegueira matriculados no Ensino Fundamental com fluência em braille e que recebem AEE em SRM. A próxima seção apresenta as premissas ou motivações desta tese e situa dentro da área da computação.

1.2 PREMISSAS

O braille é indispensável para a educação dos cegos. Mesmo com o avanço de recursos tecnológicos de áudio, o braille continua sendo uma ferramenta indispensável para a educação e a inclusão social dos cegos (Caldeira de Oliveira, 2006); (Melare, 2014); (Oliveira, 2016). Tal importância foi lembrada em 04 de janeiro de 2019 quando foi comemorado o primeiro Dia Mundial do Braille (Nações Unidas do Brasil, 2019).

Segundo a OMS, pessoas com deficiência visual têm mais chances de vivenciar taxas mais altas de pobreza e levar uma vida marcada por desigualdades. De acordo com a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, o braille é essencial na educação dessas pessoas, pois ele é um meio de comunicação, liberdade de expressão e opinião, que possibilita o acesso à informação e a inclusão social (Nações Unidas do Brasil, 2019). Além disso, o braille também contribui para melhorar a autoestima e o bem-estar das pessoas com cegueira (Silverman e Bell, 2018).

De acordo com o trabalho de Stanfa e Johnson (2017), as pessoas com cegueira fluentes em braille têm mais chances de obter emprego, renda maior, independência e satisfação na vida. Esses autores mostram que a leitura em braille continua sendo estudada na educação dos cegos e que o domínio do braille pode ser crucial para a educação e para a vida do cego.

A importância do braille também é reconhecida pela indústria internacional, como comprova o projeto LEGO® *Braille Bricks*, uma iniciativa da Fundação Dorina Nowill (2020) onde os blocos de montar originais foram adaptados para uma versão em braille com o intuito de apoiar a alfabetização de crianças com deficiência visual ao mesmo tempo em que lhes proporcionam atividades de lazer (Freitas, 2019).

Além disso, o braille é necessário na educação dos cegos porque muitos conteúdos não podem ser aprendidos sem o braille, como é o caso da matemática (Batista, 2018). Os gráficos de função são exemplos cuja representação não pode ser lida por um leitor de tela, neste caso, é possível utilizar gráficos táteis para a representação acompanhados de textos descritivos em braille. Um outro exemplo de representação gráfica complexa que não pode ser lida por

leitores de tela são os mapas conceituais, em relação aos quais recomenda-se proceder da mesma forma usando representação tátil e descrições em braille (Kachhap e Mane, 2019). Entretanto, a adequação de materiais e o uso de recursos auxiliares devem ser feitos com o propósito de garantir o acesso às mesmas informações e conhecimentos que os outros estudantes videntes têm e para que o estudante com cegueira não fique em desvantagem em relação a eles (Nunes et al., 2010).

Neste sentido, a tecnologia tangível tem se destacado como recurso auxiliar em ambientes educacionais inclusivos (Moreira e Baranauskas, 2015). Ela pode ser uma alternativa de recurso adequado para a educação de crianças com cegueira porque pode tornar a interação com o sistema mais natural. Uma Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface* - TUI) utiliza objetos do cotidiano como dispositivo de entrada ou saída que necessitam da percepção, da compreensão e da ação do usuário para interagir com o sistema. Desta forma, esse tipo de interface pode ser adequada para o uso com crianças com cegueira pois ela estimula os sentidos do tato, a audição e a linguagem, promovendo a inclusão dessas crianças, além de poder oferecer uma interação mais divertida (Falcão e Gomes, 2007).

A pessoa com cegueira percebe o mundo por meio dos sentidos menos a visão. De acordo com Nunes e Lomônaco (2008) a não utilização de recursos e materiais adequados durante as aulas e a transmissão de conteúdo de uma maneira que valoriza mais a visão como fonte de informação e conhecimento podem comprometer a aprendizagem do estudante com cegueira. Segundo os autores, se o professor utilizar as estratégias que utiliza com os videntes, é muito provável que o estudante com cegueira desenvolva uma aprendizagem mecânica e passe a relatar aquilo que ele ouve e não aquilo que ele aprende e conhece por meio de suas percepções (Nunes e Lomônaco, 2008).

Na aprendizagem mecânica os conceitos são decorados, não possuem significado e logo são esquecidos. Uma forma de evitar esse tipo de aprendizagem é oportunizar ao estudante com cegueira uma aprendizagem ativa usando recursos adaptados onde ele se envolve com seus estudos tendo uma maior chance de atingir uma aprendizagem significativa com base em suas percepções (Nunes e Lomônaco, 2008). Na aprendizagem significativa, um conhecimento novo interage com conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva do estudante criando relações, significados e ampliando a sua rede de conhecimentos (Ausubel, 2003).

O mapa conceitual é uma técnica pedagógica utilizada para a promoção da aprendizagem significativa e a construção do conhecimento (Novak e Cañas, 2010). Eles podem ser usados para analisar, integrar, reconciliar e diferenciar conhecimentos (Moreira, 2011). Além disso, eles facilitam a compreensão de textos na leitura, que é a etapa que antecede à leitura crítica (Liu et al., 2011), (Nikolarazi e Vekiri, 2012), (Khajavi e Ketabi, 2012), (Chien e Chin-Wen, 2015). Outros benefícios dos mapas conceituais são: redução da complexidade linguística de um texto, redução da redundância de textos e favorecimento ao desenvolvimento da escrita (Phantharakphong e Pothitha, 2014).

Além disso, a representação da estrutura cognitiva de um aprendiz em um mapa conceitual pode ser usada para verificar as mudanças que ocorrem nesta estrutura durante a realização de uma atividade (Moreira, 2010). Os mapas conceituais podem também possibilitar ao aprendiz expressar sua aprendizagem por meio de uma rede de conceitos relacionados. Desta forma, o professor pode analisar essa rede para avaliar o nível de aprendizagem do estudante e tomar decisões.

A presente tese tem natureza multidisciplinar (Alvargonzález, 2011). Faz parte do Grupo de Pesquisa em Interação Humano-Computador (IHC), do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Está ancorada nos trabalhos

de Sánchez García et al. (2016) e Forcelini et al. (2018), projetos que utilizaram interação tangível para apoiar atividades de letramento envolvendo a construção de textos em braille.

1.3 HIPÓTESES DA PESQUISA

Considerando o problema apresentado na seção 1.1 foram formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

- É possível construir mapas conceituais em braille usando uma TUI;
- O planejamento de atividades com mapas conceituais tangíveis em braille pode ser facilitado por meio de um ferramenta de autoria;
- Um framework conceitual pode possibilitar que professores e demais profissionais da educação construam uma TUI com materiais tangíveis para estudantes com cegueira construir mapas conceituais em braille.

1.4 QUESTÕES DA PESQUISA

As principais questões investigadas nesta tese foram:

1. Como é a educação das pessoas com cegueira no Brasil?
2. O que são mapas conceituais e como utilizá-los com estudantes com cegueira?
3. O que são TUI? Existem TUI para apoiar atividades de alfabetização ou letramento braille? Se sim, quais são suas características e limitações para apoiar atividades de letramento braille?
4. Como construir um ambiente computacional com interação tangível voltado às atividades de construção de conhecimento via mapas conceituais?
5. Como contruir uma TUI que permita aos estudantes com cegueira se apropriarem dos benefícios da utilização de mapas conceituais?

1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consistiu em construir um ambiente de usuário baseado em interface tangível para apoiar atividades com mapas conceituais em braille para estudantes com cegueira.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Construir o modelo conceitual de um ambiente de usuário com interação tangível para apoiar a construção do conhecimento via mapas conceituais em braille;
- Desenvolver um protótipo computacional do ambiente tangível para apoiar atividades de mapas conceituais;
- Promover a apropriação do seu uso pela comunidade parceira;
- Avaliar o protótipo junto à comunidade;
- Desenvolver um framework conceitual para a construção de interfaces tangíveis para estudantes com cegueira construírem e trabalharem com mapas conceituais em braille.

1.6 METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesta tese consistiu de processos de revisão de literatura (Mapeamento sistemático e outras), do design do ambiente tangível, do desenvolvimento do ambiente e da avaliação junto aos profissionais e estudantes de dois colégios estaduais num processo de pesquisa-ação.

A revisão de literatura envolveu os temas: "desbrailização", ensino de mapas conceituais para estudantes com cegueira e utilização de interfaces tangíveis para apoiar atividades de letramento braille. Com base nestes estudos foram formuladas as hipóteses de pesquisa desta tese e foi projetado o Braille-CM-TUI (do Inglês, *Braille-Concept Maps - Tangible User Interface*), um ambiente computacional baseado em interação tangível para estudantes com cegueira construírem mapas conceituais.

A pesquisa-ação foi adotada junto a 3 instituições co-participantes (1 Centro de Apoio Pedagógico às pessoas com deficiência visual (CAP) e 2 escolas) para promover a apropriação do uso, para avaliar e melhorar o Braille-CM-TUI. Os seus objetivos consistiram em investigar se o Braille-CM-TUI possibilitaria a apropriação dos mapas conceituais pelos estudantes com cegueira, identificar as necessidades e as dificuldades destes estudantes nas atividades e averiguar o que e como eles e seus professores achavam que deveria ser modificado ou melhorado. A Pesquisa-Ação (PA) é uma metodologia de pesquisa com métodos e abordagens para a condução de pesquisa democrática e colaborativa com os parceiros da comunidade (Hayes, 2011). Optou-se pela PA pela natureza desta pesquisa, que tem benefícios sociais e contou com o engajamento da comunidade endereçada. Uma descrição mais detalhada sobre PA é apresentada no Capítulo 6.

1.7 ORGANIZAÇÃO DA TESE

O restante desta tese está organizado em mais 6 capítulos. O Capítulo 2 apresenta a educação dos cegos (Alfabetização *versus* Letramento; o Código Braille; a "Desbrailização"; as Considerações sobre o Capítulo). O Capítulo 3 apresenta Mapas Conceituais e seu uso com Estudantes com Cegueira e Baixa Visão (Os Mapas Conceituais, Possibilidades de uso dos Mapas Conceituais em Sala de Aula; Trabalhos sobre Mapas Conceituais com Estudantes com Cegueira ou Deficiência Visual; e Considerações sobre o Capítulo). O Capítulo 4 é sobre Interfaces Tangíveis de Usuário para apoiar o Letramento Braille, Mapeamento Sistemático sobre TUI para o Ensino do Braille de Beal e García (2019); e Considerações sobre o Capítulo). O Capítulo 5 descreve o Ambiente Proposto (Braille-CM-TUI, Requisitos que Orientaram o Design; O Protótipo; e Considerações sobre o Capítulo). O Capítulo 6 apresenta a Pesquisa-Ação (Aspectos Éticos, os Participantes, O Desenvolvimento da Pesquisa-Ação; e Considerações sobre o Capítulo). O Capítulo 7 apresenta Resultados Diversos (Resultados da Execução da Sequência Didática para ensinar Mapas Conceituais; Resultados dos Experimentos Remotos; Resultados e Análise dos Dados Coletados via Questionários; e Considerações sobre o capítulo). No final do documento são apresentadas as Referências Bibliográficas consultadas e os Apêndices.

2 A EDUCAÇÃO DE CEGOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos envolvidos no processo de educação de cegos no Brasil, país onde a pesquisa apresentada nesta tese foi realizada com o objetivo de responder à questão de pesquisa 1 - "Como é a educação das pessoas com cegueira no Brasil?".

Para compreender o contexto no qual esta tese está inserida, conceitos importantes e necessários são apresentados. Na seção 2.1 são apresentados os conceitos de alfabetização, letramento, Letramento pela Via Direta (LVD) e letramento dos cegos. Na seção 2.2 é apresentado o código braille, ferramenta essencial para a educação das pessoas com cegueira. Na seção 2.3 o tema "desbrailização", introduzido no capítulo 1, é retomado com mais detalhes. Na seção 2.4 as considerações sobre o capítulo.

2.1 ALFABETIZAÇÃO *VERSUS* LETRAMENTO

A alfabetização e o letramento são dois conceitos da educação que frequentemente se confundem. Porém, autores como Freire (1987) e Foucambert (2008) veem a alfabetização e o letramento como processos distintos, cada um com suas particularidades, mas que acontecem juntos e se complementam no ensino da escrita.

A alfabetização é processo de aquisição do sistema convencional de uma escrita por meio de práticas de codificação e decodificação de letras, sons, sílabas e palavras (Soares, 2004). Durante a alfabetização a criança aprende a ler, mas não é suficiente para assegurar a compreensão e a interpretação, habilidades necessárias para a construção do conhecimento. Além disso, ela também aprende a escrever, mas não de maneira suficiente para realizar redação. Desta forma, é necessário desenvolver habilidades de domínio da leitura e da escrita em um processo de letramento.

O letramento é o desenvolvimento de habilidades de uso do sistema de leitura e escrita nas práticas sociais que envolvem a língua escrita (Soares, 2004, p. 14). O letramento envolve atividades como aprender a produzir, compreender e interpretar textos, entre outras.

Quando um indivíduo aprende a reconhecer o sistema de escrita, ele é considerado alfabetizado e quando ele compreende a função social da leitura e da escrita e se apropria delas fazendo o uso em diferentes contextos reais e de acordo com as demandas sociais, ele vai além, mudando seu estado para letrado. Em Soares (1999) o letramento é definido em um poema que foi escrito por uma estudante norte-americana chamada Kate M. Chong que escreveu sua história pessoal de letramento (Soares, 1999, p. 41):

Letramento não é um gancho em que se pendura cada som enunciado, não é treinamento repetitivo de uma habilidade, nem um martelo quebrando blocos de gramática. Letramento é diversão, é leitura à luz de vela ou lá fora, à luz do sol. São notícias sobre o presidente. O tempo, os artistas da TV e mesmo Mônica e Cebolinha nos jornais de domingo. É uma receita de biscoito, uma lista de compras, recados colados na geladeira, um bilhete de amor, telegramas de parabéns e cartas de velhos amigos. É viajar para os países desconhecidos, sem deixar sua cama, é rir e chorar com personagens, heróis e grandes amigos. É um atlas do mundo, sinais de trânsito, caças ao tesouro, manuais, instruções, guias e orientações em bulas de remédios, para que você não fique perdido. Letramento é, sobre tudo, um mapa do coração do homem, mapa de quem você é, e de tudo que você pode ser (Soares, 1999, p. 41).

O poema mostra que letramento é muito mais que alfabetização, é um estado, uma condição que um indivíduo adquire quando se envolve em diversas e variadas práticas sociais de leitura e escrita (Soares, 1999, p. 44). Neste sentido, é o letramento que pode realmente contribuir para a inclusão social da pessoa com cegueira e possibilitar a ela participar da sociedade de forma plena e ativa. Além disso, pressupõem-se que o letramento é o caminho para transformar o cego em um leitor em potencial e sujeito crítico, o que explica o interesse pelo letramento neste documento de tese.

Em relação às metodologias de letramento, foi adotada no projeto de pesquisa descrito nesta tese a metodologia do Letramento pela Via Direta. Essa metodologia vem sendo usada no grupo de pesquisa do qual a autora desta tese faz parte, com resultados positivos como é o caso do trabalho de Bueno e García (2015) que é voltado ao letramento bilíngue de crianças surdas. Diante disso, a autora desta tese, motivada pelo trabalho de Bueno e García (2015), acredita que a metodologia do Letramento pela Via Direta pode ser adaptada em vários contextos de letramento, inclusive para o desenvolvimento da leitura crítica e escrita no sistema braille.

2.1.1 O Letramento pela Via Direta

A metodologia do Letramento pela Via Direta (LVD) foi desenvolvida pela Associação Francesa pela Leitura (AFL) e vem sendo usada em escolas francesas, belgas e brasileiras a mais de 4 décadas e tem apresentado resultados positivos (Bueno e García, 2015).

A LVD tem como objetivo o desenvolvimento da leitura crítica e da aprendizagem da escrita, tendo por base os pressupostos que o letramento não é uma simples decifração e que a aquisição da cultura escrita em uma língua não depende da oralidade (Bueno e García, 2015, p. 55).

Segundo Foucambert (2008), professor e fundador da AFL, as crianças devem ser habituadas desde cedo com textos longos escritos. Para o autor, o aprendizado linguístico deve iniciar pela complexidade da mensagem, ao contrário do ensino de fonemas. Isso não significa que o autor seja contra o método da oralidade. Para ele a oralidade e a escrita são linguagens distintas, necessárias e que precisam ser trabalhadas em harmonia (Foucambert, 2008).

Christine Razet (Razet, 2014, p. 95), que também faz parte da AFL, escreve sobre a oralidade e a escrita da seguinte maneira: da mesma forma em que uma criança aprende a falar a partir das mensagens orais que lhe dirigimos, é a partir do sentido das mensagens escritas que o aluno adquire progressivamente o funcionamento do código gráfico. Na AFL, esse processo é chamado de "ir da mensagem ao código" (Razet, 2014, p. 95).

Para Razet (2014), uma atividade de letramento deve iniciar pela escolha de um texto, que pode ser de qualquer gênero (para a AFL todo gênero textual é importante e não existe subgênero). Os textos propostos não devem ser textos transcritos para "aprender" a ler, mas textos reais produzidos por um trabalho de escrita que possibilitam um contato verdadeiro com a língua escrita (escritos sociais, documentários, textos literários, entre outros), textos nos quais os objetos, o efeito, o conteúdo e a matéria não têm correspondência com a oralidade. Na sequência, o professor deve motivar o aluno explorar as características do código gráfico do texto selecionado (gênero, estrutura, relação com outros gêneros, organização das frases, pontuação, expressões, campos lexicais, sonoridade, ortografia, prefixos, sufixos, sinônimos, entre outros) (Razet, 2014).

Neste sentido, a metodologia LVD pode contribuir para combater a "desbrailização" (tema descrito em detalhes na seção 2.3) pois prioriza o contato direto com gêneros textuais, reais e significativos transcritos em braille (sistema de leitura e escrita em relevo dos cegos).

2.1.2 O Letramento dos Cegos

A inserção de um estudante com cegueira em práticas de LVD não difere na essência do processo de LVD de videntes ou surdos. Da mesma forma é recomendado o contato direto com diferentes gêneros textuais para o desenvolvimento do uso competente da leitura e da escrita em diferentes situações e práticas sociais que envolvam a língua escrita, porém, esses gêneros textuais devem ser transcritos em braille. No caso dos cegos, o sistema braille é necessário para aprender a codificação e a decodificação do sistema de escrita.

Durante o processo de LVD o professor deve oportunizar ao estudante cego o contato direto com a escrita por meio de conteúdos reais, significativos e contextualizados, considerando seus conhecimentos prévios e suas experiências (Domingues, 2010).

O ambiente computacional apresentado nesta tese foi construído com o propósito de contribuir para o aprimoramento do letramento de estudantes cegos. Ele é voltado ao apoio de atividades com mapas conceituais em braille que envolvem fazer leituras, sínteses, construir proposições (afirmações) e promover a aprendizagem significativa, com base em conteúdo planejado e selecionado pelo professor.

2.2 O CÓDIGO BRAILLE

O braille (American Foundation for the Blind, 2019) é um sistema ou código universal de escrita e leitura em relevo percebido pelo tato utilizado pelas pessoas com cegueira. Foi criado por Louis Braille, que era cego, em 1825 na França. Na época, ele se baseou num código militar criado pelo oficial do exército francês Charles Barbier que possibilitava a comunicação noturna entre os soldados durante missões de guerra sem utilizar a luz (Bruno e da Mota, 2001).

No Brasil, o braille foi adotado durante o Império em 1854, quando foi fundado o Imperial Instituto dos Meninos Cegos, hoje Instituto Benjamin Constant (IBC). A adoção pelo Instituto foi influenciada por José Alvares de Azevedo que aprendeu o código em Paris (Baptista, 2000).

No braille, letras e símbolos são representados em um espaço retangular chamado de "cela braille", formada por 6 pontos distribuídos em 3 linhas e 2 colunas (Figura 2.1) que possibilita a formação de 63 caracteres diferentes. Esses caracteres são utilizados para a representação de textos, símbolos da matemática, da química, símbolos científicos, música, informática, entre outros (Cerqueira et al., 2006).

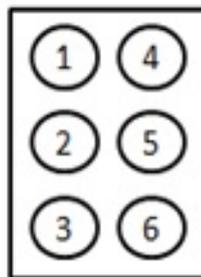


Figura 2.1: Cela braille (Fonte: a autora).

Uma "cela braille" possui seis milímetros de altura por dois milímetros de largura e os pontos são numerados de 1 a 6, do alto para baixo, coluna esquerda, os pontos de 1 a 3; do alto para baixo, coluna direita, os pontos de 4 a 6 (Figura 2.1). Os caracteres são formados levantando-se os pontos em qualquer uma das seis posições e segue a seguinte lógica: as dez

primeiras letras do alfabeto (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j) são formadas por combinações diferentes dos quatro pontos superiores (1-2-4-5); as próximas 10 letras (k,l,m,n,o,p,q,r,s,t) são as combinações das dez primeiras letras mais o ponto 3; já as letras u,v,x,y,z, são as combinações das cinco primeiras letras mais os pontos 3 e 6. A letra w foi incorporada ao código anos mais tarde para a escrita de palavras em Língua Inglesa (Bruno e da Mota, 2001). A Figura 2.2 apresenta o alfabeto da Língua Portuguesa em braille.

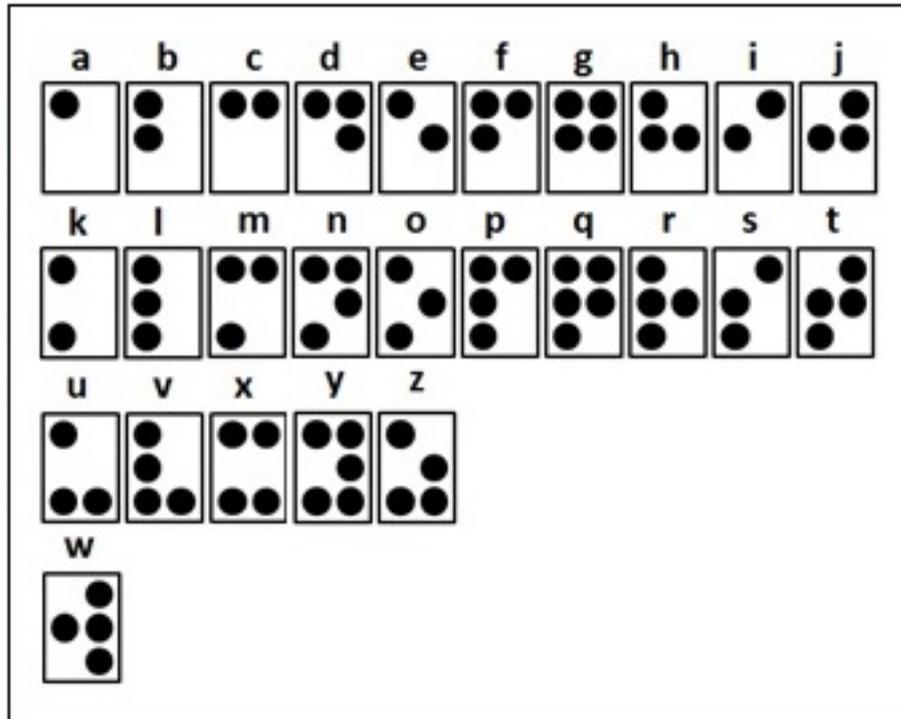


Figura 2.2: Alfabeto da Língua Portuguesa em braille (Fonte: a autora).

Além das letras do alfabeto, o braille possui caracteres para todos os símbolos da grafia comum, como os sinais de pontuação, números, letras acentuadas, ç, entre outros. Os números de 1 a 9 são representados pelos caracteres que correspondem às letras do a até i, respectivamente; o zero é representado pelo caractere da letra j precedido de um caractere que indica sinal de número usado em conjunto (Cerqueira et al., 2006). A Figura 2.3 apresenta o caractere de sinal de número e as combinações que representam os números de 0 a 9.

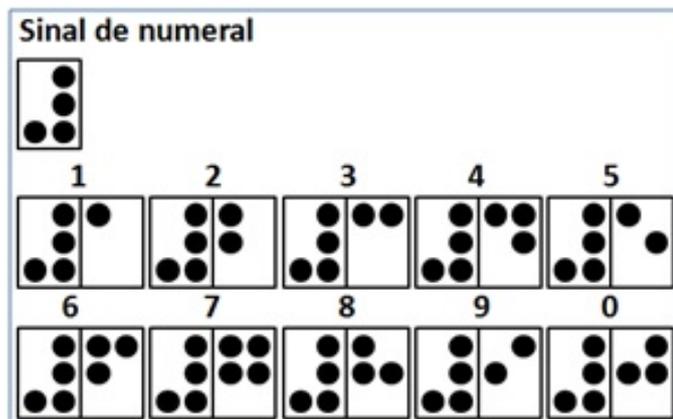


Figura 2.3: Números de 0 a 9 em braille (Fonte: a autora).

Na escola, os estudantes com cegueira matriculados no ensino regular aprendem o braille no Atendimento Educacional Especializado (AEE). Segundo o Ministério da Educação (MEC) (Ministério da Educação et al., 2009):

O AEE tem como função complementar ou suplementar a formação do aluno por meio da disponibilização de serviços, recursos de acessibilidade e estratégias que eliminem as barreiras para sua plena participação na sociedade e desenvolvimento de sua aprendizagem ((Ministério da Educação et al., 2009), Resolução CNE/CEB 4/2009).

Desta forma, as práticas envolvendo braille são realizadas no AEE que é realizado prioritariamente na Sala de Recursos Multifuncionais (SRM) da escola, mas podem ser realizadas, também, em Centros de Atendimento Educacionais Especializados (CAEE) da rede pública ou de instituições comunitárias, confessionais ou filantrópicas sem fins lucrativos, conveniadas com a Secretaria de Educação ou órgão equivalente dos Estados, Distrito Federal ou dos Municípios (Ministério da Educação et al., 2009). O atendimento é realizado por um professor especializado, no contraturno e preferencialmente em horários de atendimento individualizados por estudantes, porém, existem casos onde o professor atende a mais de um estudante no mesmo horário.

A escrita braille é feita em papel e pode ser realizada por dois diferentes instrumentos. O mais tradicional deles é o par reglete e punção (Figura 2.4(a)) A reglete é formada por duas placas de metal ou plástico fixadas num dos lados por dobradiças que permitem abrir as placas para introduzir o papel. A placa superior funciona como uma régua com linhas horizontais formadas por retângulos vazados que equivalem às "celas braille". Já a placa inferior possui 6 pontos em baixo relevo debaixo de cada retângulo da placa superior. O punção é utilizado para pressionar os pontos para formar os caracteres braille. Uma prancheta é usada para fixar o papel e encaixar a reglete. Neste instrumento, a escrita é feita da direita para a esquerda, invertendo-se a numeração dos pontos da cela (4-5-6 e 1-2-3), pois a leitura da página em braille, aquela colocada na reglete mas invertida, é feita da esquerda para a direita (Bruno e da Mota, 2001, p. 43).

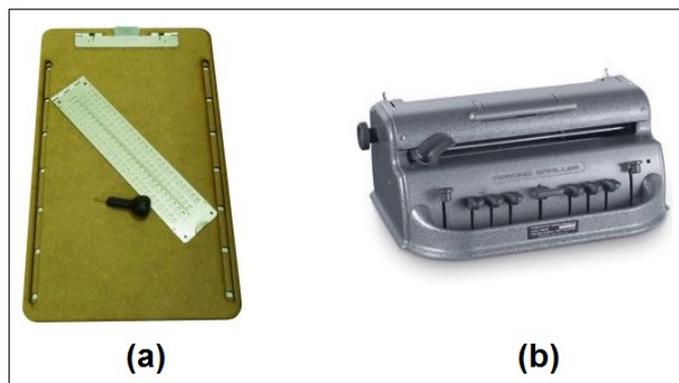


Figura 2.4: Reglete com punção e prancheta (a) e a máquina braille (b) (Fonte: Loja Civiam (2020)).

O segundo instrumento é a máquina de datilografar conhecida por máquina braille (Figura 2.4(b)). Essa máquina possui sete teclas, seis delas correspondendo respectivamente aos pontos da "cela braille" e a outra ao espaço. Os caracteres braille são formados pela combinação dos pontos produzidos por toques simultâneos. O braille é produzido da esquerda para a direita e pode ser lido sem retirar o papel da máquina (Bruno e da Mota, 2001, p. 43).

Com o avanço da tecnologia, surgiram as impressoras braille, que possibilitam imprimir textos digitais em braille. O Braille Fácil¹ é um editor de textos gratuito que faz impressão

¹Braille Fácil - <http://intervox.nce.ufrj.br/brfacil/>

braille compatível com essas impressoras, nele o texto digitado pode ser visualizado em braille e impresso em braille.

O braille é um código para leitura tátil. Os caracteres são lidos da esquerda para a direita, utilizando as duas mãos e percorrendo os pontos em relevo com as pontas dos dedos. Desta forma, para a leitura tátil corrente é necessário que os pontos em relevo sejam precisos e que o tamanho de um caractere braille não ultrapasse a área da ponta dos dedos (Bruno e da Mota, 2001, p. 51).

Além das ferramentas para a reprodução de textos em braille existem também ferramentas auditivas que foram criadas para facilitar a “leitura” (ou, mais precisamente, o acesso a conteúdos) para as pessoas com cegueira. Essas ferramentas utilizam sintetizadores de voz. São exemplos o livro falado e o leitor de tela.

O livro falado é um livro em áudio gravado com voz, sons, descrição de imagens usando técnica de áudiodescrição e em formato acessível às pessoas com cegueira (Fundação Dorina Nowill, 2020). O leitor de tela é um software que lê o que está na tela do computador, do tablet ou do smartphone. O leitor de tela mais conhecido é o NVDA (em Inglês *NonVisual Desktop Access*). Trata-se de um leitor de tela livre para o sistema operacional Windows (Uliana, 2008).

Ambas as ferramentas são de relevância inegável, pois ampliam o acesso à informação e ao conhecimento para às pessoas com cegueira (Tillmann et al., 2015). No entanto, as facilidades promovidas por elas estão fazendo com que as pessoas cegas leiam mais por audição e escrevam mais por digitação por meio de sintetizadores de voz ou por meio do reconhecimento de voz e, assim, utilizem cada vez menos o braille (Melare, 2013), (Martinez et al., 2018).

As tecnologias trouxeram muitos benefícios para a educação dos cegos e para a inclusão em escola regular. Porém, elas devem complementar o braille e não substituí-lo (Tillmann et al., 2015). Elas podem ser utilizadas para conteúdos que não possuam disponibilidade em braille, porém, conteúdos de gramática, matemática, física e química deve ser utilizado o braille para o reconhecimento e a compreensão das estruturas e das simbologias utilizadas nos conteúdos.

2.3 A DESBRAILIZAÇÃO

Com o advento das tecnologias, as pessoas cegas foram perdendo o interesse pelo braille e iniciou-se um processo chamado de “desbrailização”. A “desbrailização” é a substituição, ou subutilização, do braille por tecnologias de áudio (NFB, 2009), (Melare, 2014), (Moraes, 2016), (Batista et al., 2017), (Gehm e Fortuna da Silva, 2017), (Silverman e Bell, 2018), (Batista, 2018), (Martinez et al., 2018). Outros fatores como a falta de materiais e livros em braille e a falta de professores qualificados para ensinar o braille também contribuem para a “desbrailização”. A produção de material em braille diminuiu significativamente com a chegada das tecnologias de áudio (Moraes, 2016), (Gehm e Fortuna da Silva, 2017). Batista et al. (2018) falam sobre a escassez de cursos para a formação inicial de professores de Educação Especial e a ausência de conteúdos curriculares sobre a educação de alunos com deficiência nos cursos de licenciatura.

A falta de incentivo ao uso do braille e a alegação de muitos cegos que dizem que o braille não faz parte do cotidiano das pessoas também contrinuem para a “desbrailização”. Em Melare (2014), a professora Maria da Glória de Souza Almeida, professora e chefe de gabinete da direção-geral do Instituto Benjamin Constant, no Rio de Janeiro, centro de referência nacional na área, fala sobre a “desbrailização” (Melare, 2014):

(...) estamos vivendo um fenômeno mundial de “desbrailização”. “Hoje temos recursos atraentes demais e que não exigem sacrifício, como os audiolivros, e isso traz certa acomodação ao deficiente visual. Temos uma geração de pessoas que não querem ler em braille, só ouvir. O audiolivro, o livro digital, é muito importante, e colocou

o cego na contemporaneidade, pois quase tudo é disponibilizado simultaneamente para os deficientes visuais. Porém negar o sistema de escrita e leitura é um absurdo, a leitura é extremamente importante, e quando há convivência com o livro a fruição da obra é mais profunda, uma simbiose perfeita entre autor-leitor”, justifica a professora, que é deficiente visual. (...) Se a criança não for habituada a ler e escrever com as próprias mãos, ela não vai querer fazer isso posteriormente, já que é mais cômodo digitar e ouvir o trabalho do que escrevê-lo manualmente e ter que corrigi-lo depois. Para ela, o computador precisa ser algo complementar, e não o carro-chefe da educação das crianças, sejam elas que enxerguem ou não. (Melare, 2014).

Em Souza Ventura (2019), Regina Oliveira, uma mulher cega especialista e coordenadora de revisão da Fundação Dorina Nowill, destaca que o braille é fundamental para a educação inclusiva, já que ele é essencial não apenas para a alfabetização, mas na continuidade do aprendizado que vai deste o período escolar até o universitário. Segundo ela:

O braille é necessário para o aluno aprender a língua portuguesa e também idiomas estrangeiros, para aprender matemática, física, química e outras disciplinas (Souza Ventura, 2019).

Regina Oliveira em (Souza Ventura, 2019) também destaca que as tecnologias como os leitores de tela são complementares ao braille e não devem substituí-lo, cada um tem sua função e importância.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresentou uma caracterização da educação dos cegos no Brasil. A seção 2.1 apresentou os conceitos alfabetização e letramento. A alfabetização pode ser considerada realizada quando um indivíduo aprendeu a codificar e decodificar caracteres na língua escrita. O letramento, por sua parte, só se verifica quando um indivíduo se apropriou da escrita para fins sociais. Os dois processos são importantes e se complementam, porém, é o letramento que contribui para a inclusão social de um indivíduo.

Ainda na seção 2.1, a metodologia LVD foi apresentada. Ela foi criada pela AFL para o desenvolvimento da leitura crítica e da aprendizagem da escrita. Esta metodologia parte do pressuposto que a oralidade não necessária nem suficiente para formar leitores. A aprendizagem da leitura e da escrita se dá pelo contato direto com textos reais e por meio da exploração do código gráfico desses textos. No contexto do letramento dos cegos, as práticas de LVD requerem o código braille para a codificação e a decodificação da escrita e o contato com diferentes tipos de gêneros textuais para que ele possa se apropriar da função social da leitura e da escrita. O processo deve acontecer com o contato direto com a escrita por meio de conteúdos significativos para os estudantes em questão.

A seção 2.2 apresentou o código braille, o sistema de escrita e leitura em relevo utilizados pelas pessoas com cegueira. Foi descrito como é uma ”cela braille”, como são formados os caracteres alfabéticos da Língua Portuguesa e os números. Também foi descrito onde ocorre o ensino do braille, quais os instrumentos tradicionais utilizados para escrita, como são feitas a escrita e a leitura, a impressão e as tecnologias de áudio.

A seção 2.3 tratou o fenômeno da ”desbrailização”, que é o desinteresse da comunidade cega pelo sistema braille. Como consequência, está surgindo uma população de pessoas com cegueira analfabeta que não conhece ou domina o braille. Isso é preocupante, pois é por meio do braille que essas pessoas ingressam no mundo do trabalho, na educação e na sociedade. O sistema braille permite ao cego o acesso à leitura e à escrita. Só é possível inserir uma criança com cegueira em práticas sociais de letramento por meio do braille.

3 MAPAS CONCEITUAIS E SEU USO COM ESTUDANTES COM CEGUEIRA E BAIXA VISÃO

Este capítulo tem como objetivo responder à questão de pesquisa 2 desta tese que é formada pelos seguintes questionamentos: "O que são mapas conceituais e como utilizá-los com estudantes com cegueira?".

O mapa conceitual (Novak e Cañas, 2010) é uma ferramenta gráfica usada para representar e organizar o conhecimento. A natureza gráfica dos mapas conceituais faz com que eles não sejam explorados e ensinados em sala de aula aos estudantes com cegueira e baixa visão pois não são considerados acessíveis a eles. No entanto, a literatura permitiu identificar trabalhos ((Sanchez e Flores, 2010), (Kachhap e Mane, 2019)) que mostram que, com adaptações, é possível que as pessoas com cegueira e baixa visão possam usufruir das vantagens da adoção dos mapas conceituais ao longo de sua Educação.

A seção 3.1 apresenta os mapas conceituais. A subseção 3.2 apresenta as possibilidades de uso dos mapas conceituais em sala de aula. A seção 3.3 apresenta trabalhos sobre o uso de mapas conceituais com estudantes com cegueira ou com deficiência visual. Por fim, as considerações sobre o capítulo estão na seção 3.4.

3.1 OS MAPAS CONCEITUAIS

Os mapas conceituais são ferramentas gráficas para representar e organizar o conhecimento. Eles foram criados por Joseph Novak e colaboradores, nos Estados Unidos na década de 70 e são fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa que foi proposta pelo pesquisador norte-americano David Paul Ausubel (1918-2008). Na aprendizagem significativa, um novo conhecimento adquirido interage com conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz criando relações, significados e ampliando a sua rede de conhecimentos (Ausubel, 2003), (Moreira, 2011).

Um mapa conceitual é um diagrama que exhibe relações entre conceitos (Moreira, 2010). Beal e García (2020) baseado em Novak e Cañas (2010) descreve que os conceitos em um mapa conceitual são representados por nós; as relações entre eles por linhas que os conectam num sentido de leitura indicado por uma seta; sobre essas linhas existe um rótulo que é uma frase verbal que determina de que forma os conceitos origem e destino se relacionam do ponto de vista semântico. Os conceitos são granularidades observadas em acontecimentos ou coisas que são representados por uma frase nominal. Dois ou mais conceitos conectados por um verbo ou uma frase verbal de ligação formam uma proposição, que é uma afirmação com sentido ((Novak e Cañas, 2010) citado por (Beal e García, 2020)).

A Figura 3.1, Beal e García (2020) apresenta um exemplo de mapa conceitual com seus componentes (conceito, conector, rótulo e proposição) destacados por linhas tracejadas. De acordo com a Figura 3.1, os conceitos aparecem em caixas, os conectores são representados por linhas sólidas com setas que indicam sentido, a composição ligando dois conceitos (Braille – é formado por -> Cela Braille, p.ex.) é uma proposição que destaca o significado da relação, por isso, é necessário selecionar rótulos precisos.

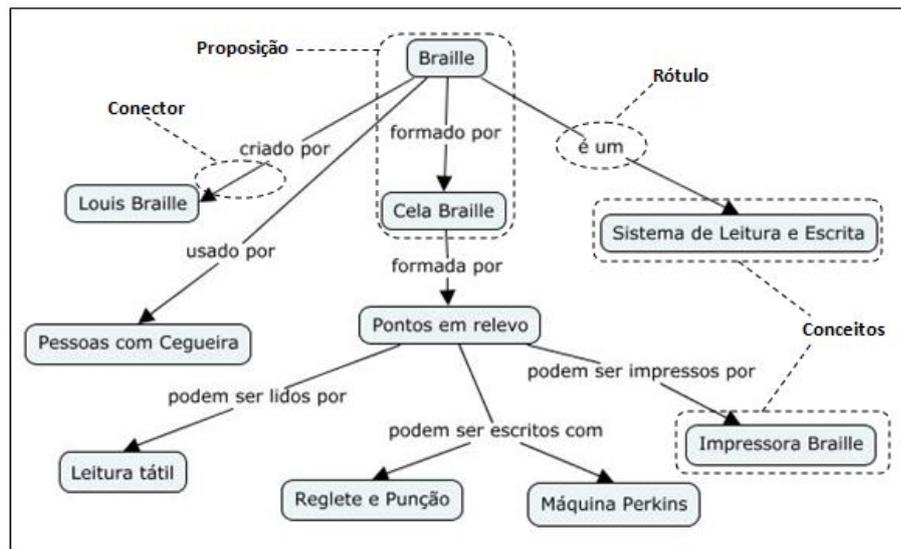


Figura 3.1: Exemplo de mapa conceitual e seus componentes (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 1)).

De acordo com Moreira (2011) não existem regras fixas para traçar mapas conceituais, mas, sim, algumas práticas:

- Diferentes figuras geométricas podem ser utilizadas para destacar conceitos mais específicos dos mais gerais. Porém, elas são irrelevantes em um mapa conceitual porque não possuem nenhum significado;
- A forma das linhas usadas nas ligações, bem como o comprimento também são irrelevantes. Uma linha simplesmente indica que há uma ligação entre dois conceitos. Desta forma, o tamanho e o traçado não farão diferença, a não ser que façam parte de um conjunto de regras específico;
- Pode-se adotar um modelo hierárquico, onde conceitos mais gerais situam-se no topo da hierarquia e conceitos específicos na base. Também pode-se adotar um modelo em formato de rede, piramidal, entre outros. Não existem um modelo fixo;
- Setas podem ser utilizadas para dar sentido de direção às relações conceituais, mas não obrigatoriamente.

Moreira (2011) destaca que quando se definem regras para construir mapas conceituais em determinadas situações, tais como determinadas formas geométricas, diferentes tipos de traçados para linhas ou diferentes tipos de modelos, essas regras são contextuais e válidas somente para a situação específica.

Novak e Cañas (2010) recomendam que o mapa conceitual seja elaborado a partir de uma questão focal com a finalidade de respondê-la. Essa questão é o que define o contexto e o tamanho do mapa. Os autores sugerem iniciar a construção identificando os conceitos-chave, em seguida, organizar em uma lista ordenada do mais geral ao mais específico. A partir dessa lista, formar as proposições e construir o mapa. Em relação ao tamanho do mapa, os autores advertem que um mapa com um número de conceitos muito grande pode se tornar confuso e ilegível, anulando ou restringindo as vantagens intrínsecas ao conceito de mapa conceitual (Novak e Cañas, 2010).

Ainda sobre o tamanho de um mapa conceitual, Cañas et al. (2016) destaca que usuários iniciantes em mapas conceituais podem apresentar dificuldades para saber quando seu mapa está

completo e quando devem parar de adicionar conceitos a ele. Com isso, esses usuários tendem a construir mapas excessivamente detalhados, difíceis de ler e de compreender, mas, à medida que eles progredem, começam a criar mapas menores e mais concisos. A orientação de Cañas et al. (2016) para minimizar as dificuldades dos usuários iniciantes é que eles iniciem com mapas simples para compreender os conceitos de "conceito", "relacionamento", "proposição" e "foco", pois, a construção de mapas simples é a base para aprender a construir bons mapas.

O objetivo e o público-alvo do mapa conceitual também devem ser levados em consideração para determinar o tamanho do mapa. Cañas et al. (2016) citam o Software Cmaptools¹ como uma ferramenta que facilita a construção de mapas conceituais, observando, porém, que ele possui muitos recursos visuais não acessíveis às pessoas com cegueira ou baixa visão, sendo o ambiente com interação tangível desenvolvido nesta tese uma alternativa ao CmapTools para a população com cegueira e baixa visão.

3.2 POSSIBILIDADES DE USO DOS MAPAS CONCEITUAIS EM SALA DE AULA

Os mapas conceituais podem ser utilizados em sala de aula de diferentes formas (Moreira, 2010). O professor pode apresentar o seu mapa conceitual para introduzir, recapitular ou concluir um conteúdo, dando uma ideia dos conceitos-chave, facilitando para os estudantes a leitura e a compreensão. De acordo com Moreira (2010), um mapa conceitual não deve ser considerado como "acabado", mas sim em construção. Desta forma, o professor pode usar um mapa introdutório para que os estudantes adicionem novos conceitos conforme desenvolvem e constroem o conhecimento sobre o assunto introduzido no mapa. Esse tipo de mapa conceitual introdutório é chamado de "esqueleto" (Novak e Cañas, 2006).

Segundo Novak e Cañas (2006), os "esqueletos" de mapas conceituais podem ser usados como guia, suporte, ou ajuda para o aprendizado pelos estudantes. Eles também podem servir de andaimes para construir o mapa. O uso de "esqueletos" de mapas pode ser utilizado com estudantes iniciantes em mapas conceituais pois a sua estrutura de base orienta a adição de outros conceitos. Conforme o aluno vai ganhando experiência com a elaboração de mapa conceitual, o professor pode fornecer "esqueletos" cada vez menos completos até chegar no nível que ele consiga construir sozinho (Novak e Cañas, 2006). Além disso, o professor pode fornecer aos estudantes "esqueletos" com erros com o propósito de fazer com que eles reflitam sobre o mapa que está "pronto" e o corrijam.

De acordo com Novak e Cañas (2006), os mapas conceituais podem ser construídos de forma individual, em duplas, em grupos por uma turma toda em conjunto com o professor. Para esse tipo de atividade o professor pode fornecer uma lista de conceitos que o professor queira que os estudantes incluam em seus mapas (Novak e Cañas, 2006). As listas de conceitos também podem ser fornecidas em atividades por meio de "esqueletos" de mapas conceituais.

Moreira (2010) descreve que o uso de mapas conceituais apresentados e elaborados pelo professor enquadra-se na metodologia expositiva tradicional. Porém, a construção e a apresentação dos mapas conceituais feitos pelos estudantes enquadra-se em uma perspectiva construtivista-interacionista social (Moreira, 2010, p. 54). O autor descreve também que para iniciar o uso de mapa conceitual em sala de aula, o professor primeramente deve garantir que os estudantes entendam o que é um mapa conceitual. Para isso, o professor pode usar dois ou mais exemplos construindo junto com os estudantes. Na sequência, pedir aos estudantes para que façam um primeiro mapa sobre um assunto do qual eles já tenham conhecimento. Durante a construção, o professor deve atuar como um mediador e promover a negociação de significados, ou seja, questionar por que um conceito é mais importante que outro e por que tais e tais conceitos

¹CmapTools - disponível em <https://cmap.ihmc.us/cmaptools/>.

devem ser conectados entre si. A negociação de significados é considerada o aspecto mais rico para a aprendizagem significativa (Moreira, 2010, p. 54). De acordo com Moreira (2010), a participação do professor não deve ser no sentido de verificar se o mapa conceitual está "certo ou errado", mas sim como mediador do processo de construção com postura construtivista, orientando o processo e estimulando os seus estudantes a pensarem naquilo que estão construindo (Moreira, 2010, p. 55).

3.3 TRABALHOS SOBRE MAPAS CONCEITUAIS COM ESTUDANTES COM CEGUEIRA OU COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Foram identificados na literatura 2 trabalhos sobre o uso de mapas conceituais por estudantes com cegueira ou com deficiência visual. Foram realizadas buscas na ferramenta Google Scholar² usando as strings de busca (("concept map" OR "concept mapping") AND ("blind users" OR "blind children" OR "blind students" OR "students with visual impairment" OR "children with visual impairment" OR "users with visual impairment")) e (("mapa conceitual" OR "mapeamento conceitual") AND ("usuários cegos" OR "crianças cegas" OR "estudantes cegos" OR "estudantes com deficiência visual" OR "crianças com deficiência visual" OR "usuários com deficiência visual")), para identificar trabalhos em Inglês e Português, respectivamente. Para a seleção dos trabalhos foram adotados os seguintes critérios de inclusão: a) trabalhos sobre o uso de mapas conceituais com estudantes com deficiência visual; b) trabalhos sobre ferramentas, recursos ou softwares para a construção de mapas conceituais por estudantes com deficiência visual; e, c) trabalhos sobre recomendações de adaptações de mapas conceituais para estudantes com deficiência visual. Já os critérios de exclusão adotados foram os seguintes: a) excluir relatórios técnicos, apresentações, índices, notas e comentários; b) trabalhos duplicados; c) trabalhos que não estão em Português ou Inglês; d) versões mais antigas do trabalho; e) trabalhos de acesso pago; f) trabalhos que não estavam relacionados com o uso de mapas conceituais com estudantes com deficiência visual.

O primeiro trabalho identificado na busca descrita no parágrafo anterior é Sanchez e Flores (2010) sobre o software AudiodMC para estudantes com deficiência visual construir mapas conceituais. Esse software é baseado em áudio e foi projetado para ser usado com o teclado, tanto para selecionar ações específicas quanto para navegar no mapa que está sendo criado. Cada ação executada pelo usuário gera um feedback de áudio para orientar as suas ações seguintes. Embora o AudioMC seja adequado para as pessoas com cegueira e baixa visão, ele utiliza tecnologia de áudio e não promove o contato direto com a leitura e a escrita em braille, necessário para a educação e para o alcance da cidadania plena pelas pessoas com cegueira ((Stanfa e Johnson, 2017), (Silverman e Bell, 2018), (Nações Unidas do Brasil, 2019)). No entanto, o AudioMC proporcionou ideias para o trabalho apresentado nesta tese.

O outro trabalho é Kachhap e Mane (2019). Esse trabalho apresenta os desafios enfrentados pelos estudantes com cegueira para construir mapas conceituais e apresenta sugestões de adaptações que podem torná-los acessíveis. De acordo com Kachhap e Mane (2019), a maior dificuldade enfrentada pelos estudantes com cegueira ao elaborar um mapa conceitual é organizar os conceitos no espaço. A falta de percepção do espaço de trabalho e do posicionamento dos elementos no todo podem dificultar a elaboração. Além disso, o tamanho do mapa também foi apontado como um desafio. Neste ponto, Kachhap e Mane (2019) dizem que um mapa com muitos conceitos pode ser confuso e ilegível para o cego. A leitura tátil é sequencial e fragmentada, o que exige memória. Desta forma, se o mapa for muito detalhado, o estudante pode perder-se na leitura do todo. A sugestão de Kachhap e Mane (2019) para mitigar a ocorrência

²Google Scholar - <https://scholar.google.com/>

desse problema são adaptações entre as quais: a utilização de mapa tátil, informações textuais em braille ou em áudio no mapa conceitual e tamanho adequado (“menor é melhor”).

Os trabalhos de Sanchez e Flores (2010) e Kachhap e Mane (2019) forneceram ideias que foram compiladas como requisitos para o design de ambiente de usuário com interação tangível para estudantes com cegueira construir mapa conceitual desta tese e são apresentadas na Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Requisitos para o design de ambiente de usuário para pessoas com cegueira construir mapas conceituais (Fonte: a autora)

Requisitos
Utilizar feedback de áudio e itens sonoro (Sanchez e Flores 2010).
Trabalhar com mapas pequenos, táteis, em áudio e em braille (Kachhap e Mane 2019)

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a caracterização de mapas conceituais, os elementos que o compõem e as formas de utilizá-los em sala de aula. Foram apresentados também 2 trabalhos que indicam a possibilidade de uso de mapas conceituais com estudantes com cegueira e com deficiência visual. O primeiro deles foi o trabalho de Sanchez e Flores (2010) sobre o software AudiodMC. Trata-se de um software para deficientes visuais construírem mapas conceituais. Nesse software a interação ocorre por meio do teclado e são fornecidos diferentes tipos de feedback de áudio e sons para guiar o usuário na navegação e na construção de mapa conceitual. Apesar de ser voltado ao cego, não agrega o braille e, desta forma, não é indicado para apoiar atividades de letramento braille. O segundo trabalho foi o de Kachhap e Mane (2019) que apresenta os desafios enfrentados pelos cegos no processo de construção de mapa conceitual e sugere algumas práticas para tornar os mapas conceituais acessíveis aos cegos. Desses 2 trabalhos foram extraídos requisitos que foram usados para orientar o design de um ambiente de usuário apresentado neste tese.

4 INTERFACES TANGÍVEIS PARA APOIAR O LETRAMENTO BRAILLE

O presente capítulo tem a finalidade de responder à questão de pesquisa 3 desta tese que é formada pelos seguintes questionamentos: "O que são TUI? Existem TUI para apoiar atividades de alfabetização ou letramento braille? Se sim, quais são suas características e limitações para apoiar atividades de letramento braille?". A seção 4.1 apresenta as Interfaces Tangíveis, sua caracterização, sua classificação, tecnologias para implementação e o seu uso na educação. A seção 4.2 apresenta um mapeamento sistemático sobre interfaces tangíveis para o ensino do braille. Por fim, a seção 4.3 apresenta as considerações sobre o capítulo.

4.1 INTERFACES TANGÍVEIS

Uma Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface* - TUI) tem como objetivo dar forma física para informações digitais para que possam ser manipuladas por meio de objetos físicos (Ishii, 2008). Elas surgiram em 1997, quando Ishii e Ullmer (1997), do MIT (Massachusetts Institute of Technology), apresentaram à comunidade científica o projeto Tangible Bits (Ishii e Ullmer, 1997).

O projeto Tangible Bits determinou um paradigma de interação inovador como alternativa ao paradigma da época, as interfaces gráficas de usuário (do inglês, *Graphical User Interfaces* - GUI). Segundo os autores do projeto Tangible Bits (Ishii e Ullmer, 1997), as GUIs apresentavam todas as informações como "bits pintados" em telas retangulares no primeiro plano, limitando os canais de comunicação e não abrangendo a riqueza do sentidos e as habilidades de interação que as pessoas desenvolveram com o mundo físico ao longo do tempo. Desta forma, os autores propuseram transformar os "bits pintados" em "bits tangíveis" explorando múltiplos sentidos e variadas modalidades de interação humana com o mundo real. A proposta do Tangible Bits foi a manipulação de informações digitais por meio de objetivos físicos do dia-a-dia, utilizando qualquer superfície do ambiente como superfície interativa entre o mundo físico e o virtual, e meios do ambiente como o som, a luz, o movimento, entre outros (Ishii e Ullmer, 1997).

Em uma TUI, segundo Fishkin (2004), um usuário manipula manualmente um objeto físico (um bloco, uma bola, um brinquedo, etc.), ele encaixa, gira, empurra, aperta, etc., gerando um evento de entrada, o sistema computacional detecta esse evento e uma mudança interna digital ocorre, de acordo com a mudança que foi provocada no objeto físico, o sistema então fornece feedback (evento de saída) que pode ser de diferentes formas, tais como orientações na forma de áudio, feedback tátil, entre outras. É esse contato físico do usuário com os objetos que faz com que essas interfaces sejam chamadas de interfaces "palpáveis", ou "agarráveis" (Fishkin, 2004).

De acordo com Fishkin (2004) as TUI podem ser categorizadas em duas classes não mutuamente exclusivas entre si: Incorporação e Metáfora.

A Incorporação diz respeito a quão relacionados estão o objeto físico que está sendo manipulado e a saída do sistema. Ela é subclassificada em 4 níveis diferentes (Fishkin, 2004):

- Completa, quando o dispositivo de entrada também é o dispositivo de saída;
- Próximo, quando a saída é dada perto do objeto de entrada;
- Ambiental, quando a saída é dada ao redor do usuário;
- Distante, quando a saída é dada em uma tela ou local.

A classe Metáfora está relacionada com a analogia entre o objeto tangível utilizado na interação e o objeto virtual. Está subdividida em 4 tipos (Fishkin, 2004):

- Substantivo, quando a analogia é feita à forma, à aparência ou ao som do objeto tangível em relação ao objeto virtual que ele representa.
- Verbo, quando a analogia é feita em relação aos movimentos de interação realizados com o objeto tangível e os movimentos realizados pelo objeto virtual.
- Substantivo-verbo, quando a analogia é feita em relação à forma e aos movimentos de interação do objeto tangível e o objeto virtual.
- Completa, quando não se aplica analogia, o objeto tangível é o próprio objeto virtual.

Para a TUI do ambiente apresentando nesta tese foram utilizadas as categorias Incorporação Ambiental e Metáfora Substantivo.

Em relação ao tipo de tecnologia que pode ser utilizada para implementar uma TUI, Shaer e Hornecker (2009) descrevem Visão Computacional, Identificação por Radiofrequência (do inglês, *Radio Frequency Identification* – RFID) e Microcontroladores com sendo as mais utilizadas na implementação de TUI:

- Visão Computacional: compreende um conjunto de algoritmos que são capazes de detectar a posição de vários objetos em uma superfície 2D em tempo real, fornecendo informações como cor, tamanho, forma, orientação, etc. São algoritmos para processamento de imagem digital, ou para identificar e rastrear etiquetas (tags) coladas nos objetos tangíveis. Em relação à composição de um sistema baseado em visão computacional, ele exige pelo menos três componentes: uma câmera, um dispositivo de saída (monitor, projetor, etc.) para exibir a saída em tempo real, e os algoritmos de visão computacional (Shaer e Hornecker, 2009).
- Identificação por RFID: a tecnologia de RFID utiliza a frequência de rádio para detectar um objeto marcado com uma etiqueta (tag). Essas etiquetas emitem sinais de radiofrequência para leitores que captam estas informações. Um sistema baseado em RFID é composto de um leitor de tags ligado em um computador e um conjunto de objetos marcados. A comunicação entre uma tag e um leitor só ocorre quando ambos estão próximos (Shaer e Hornecker, 2009).
- Microcontroladores: são pequenos computadores que podem ser incorporados em objetos físicos. Eles utilizam sensores para captar as informações do mundo físico, tais como: intensidade de luz, reflexão, ruído, movimento, aceleração, localização, proximidade, posição, toque, altitude, direção, temperatura, entre outros. Podem ser usados como autônomos, ou se comunicar com um computador (Shaer e Hornecker, 2009).

Ainda sobre as tecnologias, Shaer e Hornecker (2009) fazem uma comparação entre elas sobre as "propriedades físicas sentidas" que podem ser identificadas e sobre o "custo" dos componentes da TUI. Essa comparação foi útil para orientar qual seria a tecnologia mais adequada para a TUI apresentada nesta tese. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Comparativo entre as tecnologias para implementação de TUI (Fonte: Adaptado de Shaer e Hornecker (2009, Tab. 7.1, p. 80)).

Crítérios	Visão Computacional	RFID	Microcontroladores
Propriedades físicas sentidas	Identidade, presença, forma, cor, orientação, posição, posição relativa e sequência.	Identidade e presença.	Intensidade de luz, reflexão, ruído, movimento, aceleração, localização, proximidade, posição, toque, altitude, direção, temperatura, entre outros.
Custo	As tags são praticamente gratuitas; o custo das câmeras tem baixado nos últimos tempos; o custo dos dispositivos de saída (monitores, projetores, entre outros) é elevado.	Existe uma grande quantidade de tipos de tag e elas geralmente são baratas; os custos dos leitores é que podem ter variações, mas geralmente é baixo; conforme aumenta a distância que se quer cobrir, aumenta o custo da tag e do leitor	Geralmente barato. O custo dos sensores depende do tipo.

Para a TUI apresentada nesta tese foi utilizada a tecnologia de Visão Computacional devido ao custo dos componentes e as propriedades físicas sentidas que podem ser capturadas. Como se trata de uma TUI com metáfora Substantivo, se faz necessário identificar as propriedades "forma" e "cor". Apesar do fato de os componentes de saída da tecnologia Visão Computacional terem custo elevado, eles já existem na maioria das escolas, não sendo necessária a sua aquisição.

Na educação, o projeto de TUI mais conhecido da comunidade científica é o TICLE (*Tangible Interface Collaborative Learning Environment*) (Scarlatos et al., 1999). Nele os movimentos de objetos concretos são rastreados por um sistema de visão computacional. Os objetos possuem marcas reflexivas que são capturadas por uma câmera montada ao lado de uma fonte de luz. O retorno é auditivo e visual. Um monitor fornece o feedback visual. Um mouse perto do monitor permite a comunicação do jogador com o computador. O TICLE foi pensado e projetado para que as crianças se concentrem nas tarefas que estão realizando com as mãos sem se preocuparem em dar instruções para o computador. O computador atua como um orientador que monitora as ações das crianças e fornece dicas e ajuda em momentos apropriados, não interferindo a cada momento para não se tornar irritante e desmotivar o uso por parte das crianças. Alguns tipos de feedback dado pelo sistema são: parabéns quando o jogador encontra a solução; quando uma solução parcial é rastreada, o sistema encoraja o jogador e fornece dicas quando os objetos não estão montados corretamente (Scarlatos et al., 1999).

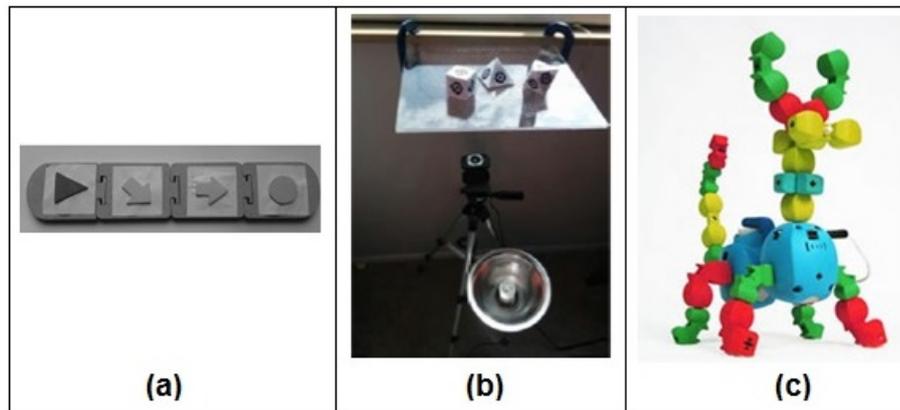


Figura 4.1: Exemplos de TUI (Fonte: figura (a) adaptada de Carbajal et al. (2015), figura (b) adaptada de Jafri et al. (2017) e figura (c) adaptada de Topobo (2018))

A Figura 4.1 apresenta três exemplos de TUI. O primeiro deles (Figura 4.1(a)) é o TaPrEC (*Tangible Programming Environment for Children*) (Carbajal et al., 2015), um ambiente de programação tangível para trabalhar o pensamento algorítmico de uma forma lúdica com crianças, através da construção de programas computacionais a partir da montagem de blocos de madeira com etiquetas RFID. A execução do programa tangível é feita usando programação Scratch¹. O sistema é composto pelos blocos de madeira, um computador, um leitor de RFID e um monitor de vídeo (Carbajal et al., 2015).

O segundo exemplo (Figura 4.1(b)) é um ambiente para ensinar conceitos de formas geométricas e percepção espacial para crianças com deficiência visual de Jafri et al. (2017). Objetos 3D com marcadores em seus lados formam a TUI que tem entrada por visão computacional. Os objetos são manipulados sobre uma superfície transparente e são rastreados e identificados por meio de seus marcadores. As crianças podem então sentir esses objetos, colocá-los na superfície e receber feedback de áudio sobre a forma e as relações espaciais. A criança interage por meio de toque e da fala (Jafri et al., 2017).

O terceiro exemplo (Figura 4.1(c)) é o Topobo (2018), um conjunto robótico reconfigurável com memória cinética que é usado para desenvolver capacidades sensoriais e aprender por meio da exploração. O kit do Topobo é formado por peças 3D que possibilitam montar diferentes animais e ensinar eles a andar movimentando suas patas (Topobo, 2018).

O interesse pelas TUI não se deu somente porque elas são a tecnologia mais usada em ferramentas educacionais inclusivas como apresentado em Moreira e Baranauskas (2015), mas, também, porque acredita-se que uma TUI pode promover uma interação mais independente e autônoma (Alhussayen et al., 2017) para o cego, além de mais natural, pois ele explora objetos físicos com o tato, ao mesmo tempo que recebe feedback de diferentes formas (Falcão e Gomes, 2007). Além disso, acredita-se que elas possam apoiar o ensino do braille.

4.2 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SOBRE TUI PARA O ENSINO DO BRAILLE DE BEAL E GARCÍA (2019)

Em Beal e García (2019) é apresentado um Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) de estudos publicados nos últimos 10 anos na área de TUI como recurso educacional para o ensino do braille. Os resultados revelaram uma pequena quantidade de trabalhos no tema, sugerindo uma oportunidade de pesquisa a ser explorada

¹Scratch - ambiente de programação criado no Massachusetts Institute of Technology (MIT).

As autoras investigaram trabalhos que utilizam TUI para responder às seguintes questões de pesquisa: Quais TUI existem para atividades de alfabetização ou letramento braille? Quais são suas características e limitações para apoiar atividades de letramento Braille? Os autores optaram por um MSL para categorizar e sintetizar informações existentes sobre o uso de TUI para o ensino do braille e revelar lacunas desse espaço de pesquisa. O MSL incluiu estudos publicados em bases digitais nacionais e internacionais (IEEEExplorer, Scopus, Web of Science e CEIE) da área de Informática na Educação entre os anos 2010 e 2019. A busca foi realizada de forma automática em quatro bases que retornaram 382 artigos. Após aplicação de critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 10 artigos (Beal e García, 2019).

A partir do questionamento principal, os autores definiram 5 questões de pesquisas específicas para serem respondidas com o MSL (Beal e García, 2019):

- **QP1:** Qual a tecnologia (RFID, visão computacional, microcontroladores, entre outras) utilizada na implementação da TUI?
- **QP2:** Como as crianças interagem com o ambiente e quais tipos de feedback são dados à elas?
- **QP3:** Como esses trabalhos foram testados e por quem?
- **QP4:** Possui limitações em relação ao apoio às atividades de letramento?
- **QP5:** Os trabalhos apresentam recomendações ou requisitos para o projeto de TUI para cegos?

De acordo com os resultados do MSL (Figura 4.2), 8 dos 10 trabalhos selecionados foram publicados nos anos 2016, 2017 e 2018. Isso indica pesquisas recentes e serviu de motivação para este trabalho de pesquisa seguir na linha das TUI. Em relação a localização geográfica das publicações, 2 estudos são de pesquisadores brasileiros e os demais são de pesquisadores estrangeiros (Beal e García, 2019).



Figura 4.2: Quantidade de publicações por ano (Fonte: Beal e García (2019, Fig. 1, p. 1135)).

Para responder às questões de pesquisa, os 10 trabalhos retornados foram divididos em dois grupos. O Grupo 1 agrupou os trabalhos sobre TUI para alfabetização ou letramento braille

e o Grupo 2 os trabalhos que apresentaram requisitos para TUI para cegos. O Grupo 1 foi usado para responder a todas as questões de pesquisa. Já o Grupo 2 envolveu trabalhos sobre TUI para cegos, porém, voltados ao ensino de outros temas como os conceitos geométricos, as funções matemáticas e os elementos da geografia. Apesar de os trabalhos do Grupo 2 não serem voltados ao ensino do braille, eles foram selecionados porque apresentaram contribuições relevantes para responder à QP5 (Beal e García, 2019).

A Figura 4.3 apresenta a resposta da QP1 sobre as tecnologias utilizadas, ou sugeridas, na construção das TUI. Entre os trabalhos do Grupo 1, dois trabalhos (brasileiros) usam ou sugerem a visão computacional e a biblioteca OPENCV (*Open Source Computer Vision Library*). Já os demais trabalhos usam RFID e microcontroladores sendo 2 trabalhos e 1 trabalho, respectivamente. Entre as tecnologias usadas, segundo as autoras, a visão computacional parece ser a que viabiliza uma TUI com custo mais baixo. Isso porque as webcams são mais baratas que sensores, leitores RFID e microcontroladores. Além disso, são encontradas com mais facilidade em ambientes educacionais (Beal e García, 2019). Tal constatação reforçou a decisão pela tecnologia da visão computacional nesta tese.



Figura 4.3: Resposta da QP1 (Fonte: Beal e García (2019))

Em relação aos tipos de interações que as crianças podem ter com os ambientes (resposta da QP2 Figura 4.4), foi observado que é unânime o uso do toque entre os trabalhos do Grupo 1. Em ambiente interativo tangível para o ensino do braille o toque é indispensável porque o braille é um sistema de leitura e escrita tátil. Apenas um trabalho fornece interação por meio da fala para o usuário falar a resposta. Também foi observado que o feedback auditivo é unanimidade entre os trabalhos e é utilizado para conduzir e orientar o usuário sobre a realização das atividades nas TUI. Desta forma, toque e áudio parecem ser uma combinação adequada para projeto de TUI para cegos (Beal e García, 2019).



Figura 4.4: Resposta da QP2 (Fonte: Beal e García (2019))

Outra informação investigada nos trabalhos do Grupo 1 consistiu de representantes de quais atores realizaram os testes nos ambientes (resposta da QP3). As autoras observaram que 2 trabalhos consultaram e entrevistaram professores de braille para orientar o design das TUI. Um deles não apresentou testes em protótipo e o outro testou o protótipo com um professor cego. Em relação aos demais trabalhos, dois deles realizaram testes em protótipos com professores e crianças cegas e um deles não apresentou testes na funcionalidade de números braille do protótipo. As autoras observaram que a participação dos professores durante os processos de design e construção se confirma como uma metodologia necessária pela comunidade científica. Isso foi percebido por um dos trabalhos dos brasileiros que traz esse fato como requisito para a elaboração de TUI para crianças cegas. Em relação aos testes com crianças cegas, segundo as autoras parece ser a forma mais adequada e indicada de validar uma TUI voltada ao ensino do braille, sempre que não for possível envolvê-las no próprio design (Beal e García, 2019).

Beal e García (2019) também analisaram os trabalhos do Grupo 1 para identificar limitações em relação ao apoio às atividades de letramento braille e responder à questão de pesquisa QP4. De acordo com a Figura 4.5 três trabalhos apoiam atividades de letramento e dois deles atividades de alfabetização. Os 3 trabalhos sobre letramento apoiam atividades de construção de textos em braille, mas apresentam limitações para apoiar atividades de construções em braille mais complexas como os mapas conceituais, de acordo com as autoras, isso mostra a relevância de atuar nesse nicho de pesquisa.



Figura 4.5: Atividades apoiadas pelos trabalhos do Grupo 1 (Fonte: Beal e García (2019))

Para responder à QP5 foram utilizados os trabalhos dos Grupo 1 e do Grupo 2. A partir deles, as autoras extraíram um conjunto de requisitos (Tabela 4.2 que podem ser utilizados como guia para o design de um ambiente computacional com interação tangível como aquele apresentado nesta tese (Beal e García, 2019).

Tabela 4.2: Requisitos para o design de TUI para pessoas com cegueira (Fonte: Beal e García (2019, p. 1136-1137))

Requisitos
Os objetos tangíveis devem ser estáveis e com encaixes fortes e firmes para não desmontar facilmente (McGookin et al. 2010, Sánchez García et al. 2016, Rühmann et al. 2016 e Forcelini et al. 2018, citados por Beal e García 2019).
O tamanho dos tangíveis deve ser adequado para a percepção tátil, tangíveis muito pequenos ou ampliados podem não ser reconhecidos (Ávila-Soto et al. 2017, citado por Beal e García 2019).
A base ou área de trabalho deve ter tamanho que permita construções significativas conforme contexto de uso (Forcelini et al. 2018, citado por Beal e García 2019).
Usar linhas de referência na base de montagem da TUI para facilitar o alinhamento dos tangíveis (Ávila-Soto et al. 2017, citado por Beal e García 2019).
Utilizar uma caixa organizadora para facilitar a localização dos tangíveis durante o uso da TUI (Lozano et al. 2018, citado por Beal e García 2019).
Dar preferência às tecnologias e materiais de baixo custo para a construção dos tangíveis (Jafri 2014, Forcelini et al. 2018 e Maher et al. 2018, citados por Beal e García 2019).
Possibilitar ao professor formas e métodos "Do-It-Yourself" para ele construir os objetos tangíveis (Jafri et al. 2017 e Brulé et al. 2016, citados por Beal e García 2019).
O design e o desenvolvimento do ambiente TUI devem ser realizados em conjunto com designers e professores de crianças cegas (Sánchez García et al. 2016, citado por Beal e García 2019).
Prezar pela qualidade estética visual, auditiva e tátil, pois é benéfico para a inclusão e pode desencadear emoções positivas (Brulé et al. 2016, citado por Beal e García 2019).
O processo de interação deve utilizar recursos multimodais e recursos multimídia para melhorar e enriquecer a comunicação durante o processo de utilização (Sánchez García et al. 2016, citado por Beal e García 2019).
A TUI deve fornecer interação mais natural possível e levar em consideração as habilidades motora e cognitiva de crianças cegas (Sánchez García et al. 2016, citado por Beal e García 2019).
O sistema deve fornecer feedback para orientar, motivar e dar autonomia para a criança durante o uso da TUI (Lozano et al. 2018, citado por Beal e García 2019).
As atividades de letramento devem ser planejadas para serem significativas e suportar trabalhos interativos e colaboração (Sánchez García et al. 2016, citado por Beal e García 2019).
Os cenários de uso devem ser lúdicos e envolver as crianças, de preferência via jogos (Brulé et al. 2016 e Forcelini et al. 2018, citados por Beal e García 2019).

A arquitetura proposta por Forcelini et al. (2018) e o framework proposto por Maher et al. (2018), ambos citados por Beal e García (2019), também podem ser usados como referência em projetos de TUI para crianças com cegueira.

Beal e García (2019) concluíram com o seu MSL que a pequena quantidade de trabalhos encontrada sugere que ainda pouco se pesquisa e se produz em termos de TUI para o ensino do braille. Isso, juntamente com os resultados atuais de pesquisas na área do ensino da leitura em braille que garantem a sua necessidade para o acesso à plena cidadania pelas pessoas cegas ((Stanfa e Johnson, 2017), (Batista et al., 2018), (Martinez et al., 2018) e (Silverman e Bell, 2018)), mostra a relevância de desenvolver pesquisas nesta área. Além disso, os resultados do MSL mostram que as TUI apresentadas possuem limitações em relação ao apoio de atividades que envolvem construções em braille mais complexas como os mapas conceituais.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo o conceito de TUI foi caracterizado. A secção 4.1 apresentou a sua definição, suas origens, uma classificação e os tipos de tecnologias que podem ser empregadas na sua construção. Um exemplo de projeto de TUI na educação foi apresentado. Além desse, foram apresentados outros 3 exemplos de TUI.

A seção 4.2 apresentou um MSL sobre TUI para o ensino do braille de Beal e García (2019). O MSL analisou estudos publicados nos últimos 10 anos no tema TUI como recurso educacional para ensino do braille. Os resultados revelaram uma pequena quantidade de trabalhos. Além disso, as limitações das TUI para apoiar o letramento braille e a não utilização da técnica de mapas conceituais com estudantes cegos relatado no Capítulo 3 - que fazem com que esses estudantes fiquem em desvantagem, reforçam a necessidade do desenvolvimento de trabalhos como o que apresentamos nesta tese. O conjunto de requisitos extraídos no MSL (Tabela 4.2) foram utilizados como guia para orientar o design da TUI do ambiente construído e descrito neste trabalho.

5 O AMBIENTE CRIADO

Este capítulo apresenta o Braille-CM-TUI (do Inglês, *Braille-Concept Maps - Tangible User Interface*) que é um ambiente de usuário com interação tangível para estudantes com cegueira desenvolverem atividades de mapas conceituais. Os objetivos foram tornar os mapas conceituais acessíveis aos cegos por meio de elementos do braille tangíveis, possibilitar a construção do conhecimento. Além disso, responder as questões de pesquisa: "4- Como construir um ambiente computacional com interação tangível voltado às atividades de construção de conhecimento via mapas conceituais?" e "5- Como contruir uma TUI que permita aos estudantes com cegueira se apropriarem dos benefícios da utilização de mapas conceituais?".

A seção 5.1 descreve o Braille-CM-TUI, sua arquitetura, a ferramenta de autoria e a Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface - TUI*). A seção 5.2 explica como os requisitos dos capítulos 3 e 4 foram aplicados no design do projeto. A seção 5.3 apresenta o protótipo do Braille-CM-TUI. Por fim, a seção 5.4 apresenta as considerações sobre o capítulo.

5.1 BRAILLE-CM-TUI

O Braille-CM-TUI foi projetado para ser usado em Sala de Recursos Multifuncionais (SRM), que é onde ocorrem o Atendimento Educacional Especializado (AEE) e as práticas envolvendo o braille. Os usuários do ambiente são o professor do AEE e o estudante com cegueira (Figura 5.1).

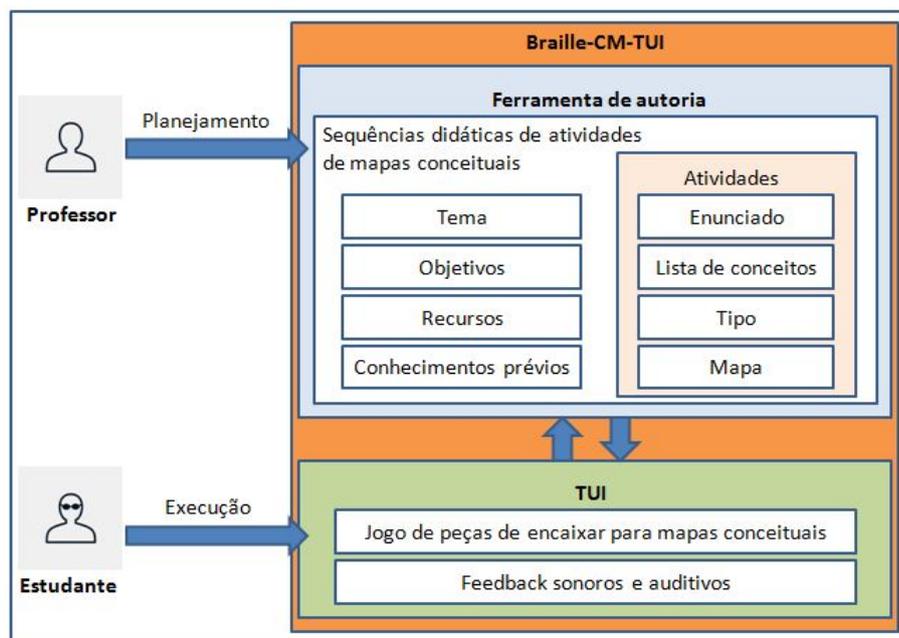


Figura 5.1: Visão geral do framework conceitual do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

A Figura 5.1 apresenta uma visão geral da arquitetura do Braille-CM-TUI (que pode ser considerada um framework conceitual) com os elementos, recursos e conceitos do planejamento das atividades de mapas conceituais e da execução das atividades.

Conforme a Figura 5.1, o professor cria sequências didáticas de atividades de mapas conceituais. Para isso ele define o tema, os objetivos, os recursos, os conhecimentos prévios e as atividades que compõem a sequência, tendo cada uma delas enunciado, lista de conceitos, tipo de atividade e o mapa conceitual. O estudante com cegueira resolve as atividades de uma sequência didática usando uma interface tangível. Assim sendo, o Braille-CM-TUI é o componente computacional que apoia a criação das sequências didáticas de atividades feitas pelo professor por meio de uma ferramenta de autoria e a execução das atividades pelo estudante com cegueira que utiliza a TUI para desenvolver as atividades usando um jogo de peças de encaixar para construir mapas conceituais enquanto recebe feedbacks sonoros e auditivos.

5.1.1 A Ferramenta de Autoria

A ferramenta de autoria do Braille-CM-TUI apoia a criação de sequências didáticas de atividades de mapas conceituais pelo professor. Uma sequência didática consiste num conjunto de atividades progressivas e diversificadas para desenvolver um conteúdo de forma gradual. É orientada por um tema, possui objetivos ou habilidades que se espera que os estudantes alcancem ao final da sequência didática, conhecimentos prévios necessários ao desenvolvimento da sequência por parte dos estudantes, recursos necessários para a realização das atividades e descrição detalhada de como realizar cada uma das atividades (Machado e Cristovão, 2006).

Na ferramenta de autoria, a descrição detalhada de cada atividade compreende: o enunciado da atividade, lista de conceitos, o tipo de atividade de Mapas Conceituais (do inglês, *Concept Maps* - CM) ("Apresentar CM", "Construir CM", "Completar CM" ou "Corrigir CM"), o CM da atividade (exceto quando o tipo da atividade for "Construir CM"), e informações adicionais ("número de erros" quando o tipo for "Corrigir CM", e "com resposta falada" quando o enunciado da atividade exigir resposta do estudante). A Figura 5.2 apresenta a estrutura de informações sobre uma sequência didática na ferramenta de autoria em formato JSON (*JavaScript Object Notation*). De acordo com a estrutura, uma sequência pode ter "n" atividades.

```

{
  "Sequencia_Didatica": {
    "id": 1,
    "Tema": "",
    "Objetivos": "",
    "Conhecimentos_Previos": "",
    "Recursos": "",
    "Atividades": [
      {
        "id_Atividade": 1,
        "Enunciado": "",
        "Lista_Conceitos": [""],
        "Tipo_Atividade": "",
        "MapaConceitual_Atividade": null,
        "Proposicoes_CM": [""],
        "Informacoes_Adicionais": {"Nro_erros": 0, "Com_Resposta_Falada": "N"}
      },
      {
        "id_Atividade": 2,
        "Enunciado": "",
        "Lista_Conceitos": [""],
        "Tipo_Atividade": "",
        "MapaConceitual_Atividade": null,
        "Proposicoes_CM": [""],
        "Informacoes_Adicionais": {"Nro_erros": 0, "Com_Resposta_Falada": "N"}
      },
      {
        "id_Atividade": n,
        ...
      }
    ]
  }
}

```

Figura 5.2: Representação das informações de uma sequência didática na ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Sobre os tipos de atividade de mapas conceituais, o tipo "Apresentar CM" é para as atividades que fornecem um mapa conceitual pronto para introduzir ou recapitular um conteúdo. Questionamentos sobre o mapa conceitual apresentado podem ser inseridos no enunciado da atividade para o estudante responder oralmente (resposta falada). O tipo "Completar CM" é para atividades com "esqueletos" de mapa conceitual que o estudante deve completar. O tipo "Corrigir CM" corresponde às atividades que fornecem um mapa conceitual com erros para o estudante encontrar e corrigir. Se o tipo da atividade fornecer um mapa conceitual (pronto, esqueleto ou para corrigir) deve-se fornecer, na ferramenta de autoria, a imagem do mapa conceitual a ser apresentada ao estudante no ambiente TUI.

A Figura 5.3 apresenta o processo "criar sequência didática" na ferramenta de autoria. Os retângulos azuis representam as tarefas do processo. O retângulo azul com uma "mãozinha" significa que é uma tarefa humana. O retângulo azul com o símbolo + é uma tarefa com um subprocesso. O retângulo cinza contém informações sobre os tipos de atividade. As linhas sólidas com setas indicam o fluxo da sequência na ordem em que as tarefas são realizadas. Os losangos amarelos representam pontos de decisão e as linhas pontilhadas associações de artefatos com tarefas. Os artefatos são documentos com informações ou dados, sendo eles: recursos em braille ou formato digital acessível, dados da SD (Sequência Didática) em formato JSON

e imagem do CM (imagem do mapa conceitual). Já o jogo de peças e a câmera são artefatos exclusivos do ambiente. Além disso, o processo é dividido em duas partições, a primeira é a do Professor e compreende as tarefas e os artefatos executados por ele na ferramenta de autoria. A segunda partição é da TUI e contém as tarefas e artefatos que são executados por ela dentro do processo. O Professor e a TUI são as entidades que participam do processo "criar sequência didática" na ferramenta de autoria.

Descrevendo o processo da Figura 5.3, ele é iniciado na ferramenta de autoria pelo Professor com a atividade "definir o tema da SD". Na sequência, o professor executa "definir os objetivos da SD", depois "definir conhecimentos prévios", logo em seguida, "definir os recursos" necessários para realizar as atividades que devem ser em braille ou em formato digital acessível (livros, apostilas, livros falados, entre outros). Após definir os recursos, o professor inicia o detalhamento das atividades, começando por "definir enunciado da atividade". O enunciado deve conter as informações do que deve ser feito na atividade e o que deve ser respondido pelo estudante. Na sequência, se a atividade tem lista de conceitos faz-se "elaborar lista de conceitos", pois em uma atividade de mapa conceitual, o Professor pode optar por fornecer uma lista de conceitos para ser usada no mapa. Em seguida, executa-se a tarefa "definir o tipo da atividade". Se o tipo escolhido fornece um mapa conceitual, deve-se fazer um mapa em "elaborar CM" (elaborar mapa conceitual). Para isso, o Professor vai utilizar o jogo de peças de encaixar na TUI. Após a construção, na tarefa "capturar CM" (capturar mapa conceitual), a TUI fará a imagem do mapa conceitual usando uma câmera posicionada acima da base e enviará a imagem para a ferramenta de autoria que segue o fluxo com a próxima atividade que é "definir informações adicionais". Caso o Professor queira adicionar mais uma atividade à sequência didática, ele deve seguir com "definir enunciado da atividade" para definir os detalhes da próxima atividade. Caso contrário, com "gerar script de dados da SD" e finalizar o processo.

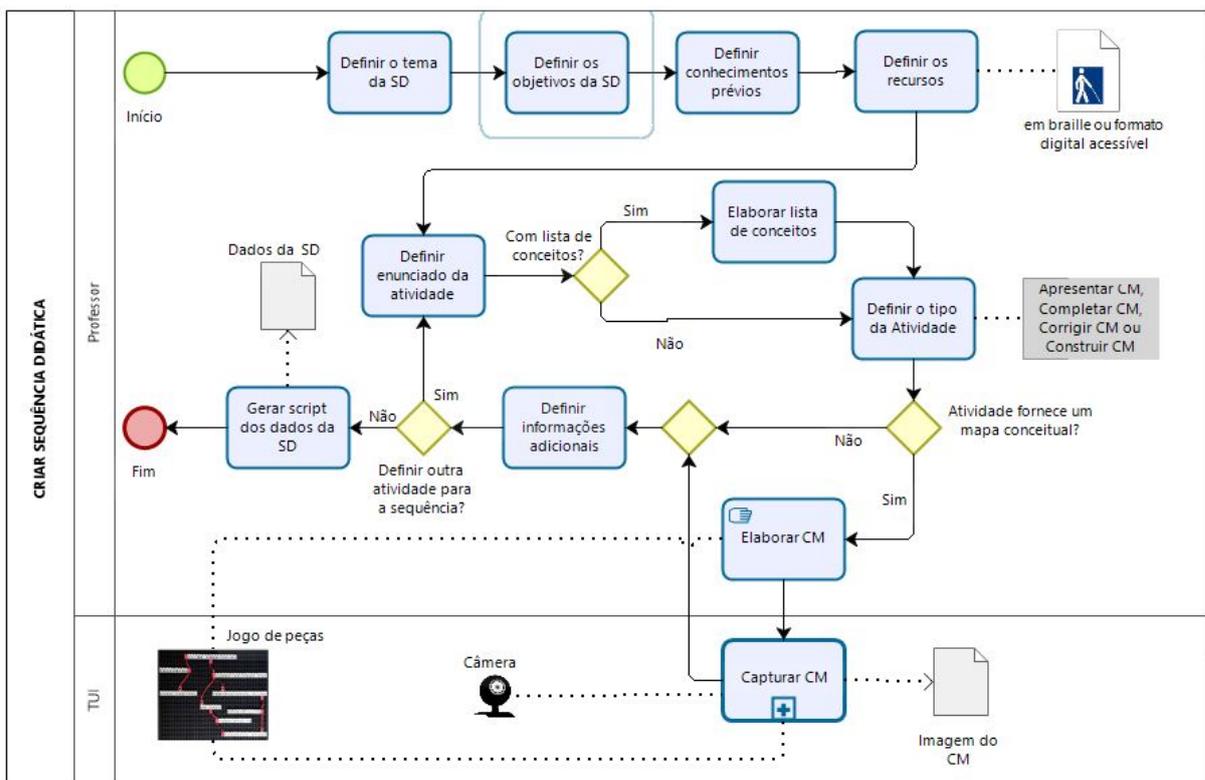


Figura 5.3: Criando uma Sequência Didática (SD) na ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Na ferramenta de autoria, o Professor pode ainda fazer a impressão em braille de uma sequência didática cadastrada, ou de uma atividade específica por meio do software Braille Fácil. A Figura 5.4 mostra o processo para realizar a impressão braille de uma atividade.

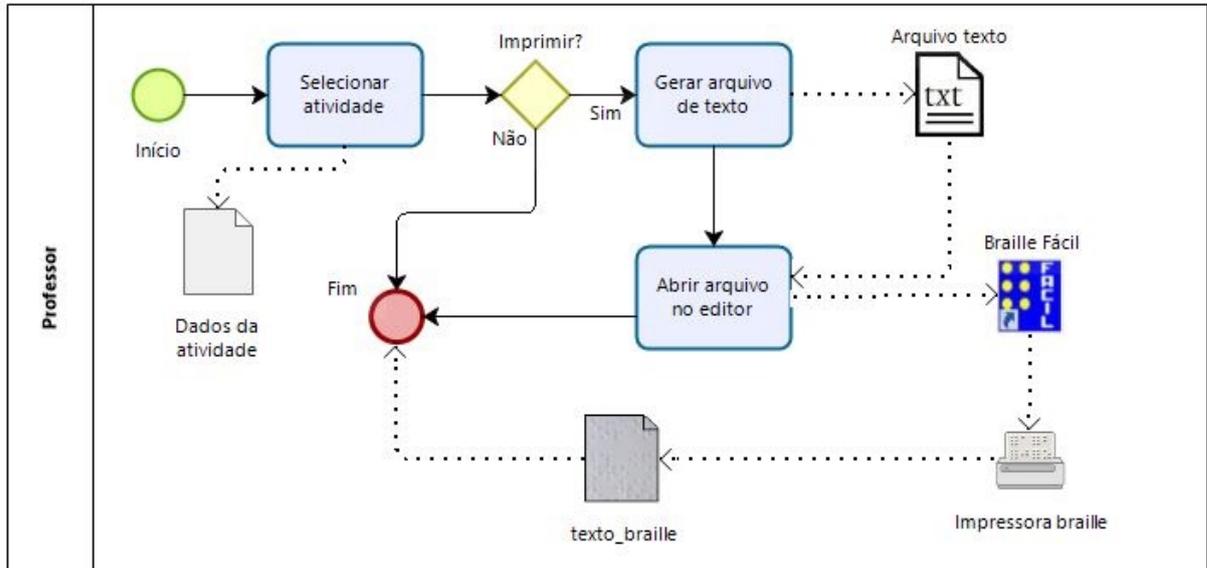


Figura 5.4: Imprimir uma atividade em braille (Fonte: a autora).

De acordo com a Figura 5.4, o processo é executado pelo Professor, ele inicia com a seleção da atividade, em seguida, se decidir pela impressão, a ferramenta de autoria irá gerar um arquivo de texto (tipo txt) com os dados da atividade selecionada (id, enunciado, lista de conceitos, tipo de atividade e mapa da atividade) que será gravado em disco. Na sequência, o Professor encontra o arquivo txt no diretório onde ele foi salvo e abre o arquivo no software Braille Fácil. No Braille Fácil o Professor clica no botão da impressora para realizar a impressão. Com o arquivo impresso o processo é encerrado. A impressão da atividade pode ser fornecida para o estudante como apoio para a realização da atividade e ele pode também arquivar em seu portfólio.

Sobre a impressão dos mapas das atividades, eles são impressos na forma de lista de proposições. No arquivo texto eles são gerados como mostra a Figura 5.5. Para representar a seta é usado o símbolo :> que é o padrão usado no Braille Fácil para a seta à direita. O mapa da Figura 5.5 corresponde ao mapa da atividade 2 da sequência didática do conto "Negócio de menino com menina" (Apêndice C).

```

Mapa da atividade:
CONTO - É UMA :> OBRA DE FICÇÃO
CONTO - É UMA :> NARRATIVA CURTA
NARRATIVA CURTA - TEM UM :> ENREDO
NARRATIVA CURTA - TEM UM :> CONFLITO
ENREDO - TEM :> NARRADOR
CONFLITO - É ENTRE :> PERSONAGENS
CONFLITO - TEM :> TEMPO REDUZIDO, ESPAÇO LIMITADO
  
```

Figura 5.5: Mapa Conceitual na forma de texto para impressão em braille (Fonte: a autora).

5.1.2 A Interface Tangível de Usuário

A Interface Tangível de usuário (do inglês, *Tangible User Interface* - TUI) apresentada neste documento de tese tem suas raízes nos trabalhos de Sánchez García et al. (2016) e Forcelini et al. (2018), que utilizaram interação tangível para apoiar atividades de letramento que envolviam a construção de textos em braille e que também investigaram a "desbrailização". Entretanto, os objetivos do Braille-CM-TUI consistiram em viabilizar a construção de mapas conceituais por estudantes com cegueira e, simultaneamente, reforçar a apropriação do braille por esses estudantes.

O trabalho de Sánchez García et al. (2016), que teve a sua primeira solução construída com blocos de montar LEGO® adaptados para o alfabeto braille (Figura 5.6). Além dos blocos braille, peças 3D. Esse conjunto foi uma tentativa de TUI para a construção de texto em braille (por meio de blocos LEGO® adaptados) com ilustrações 3D (Story Starter® da LEGO). O público alvo dessa TUI eram crianças cegas de 6 a 7 anos.

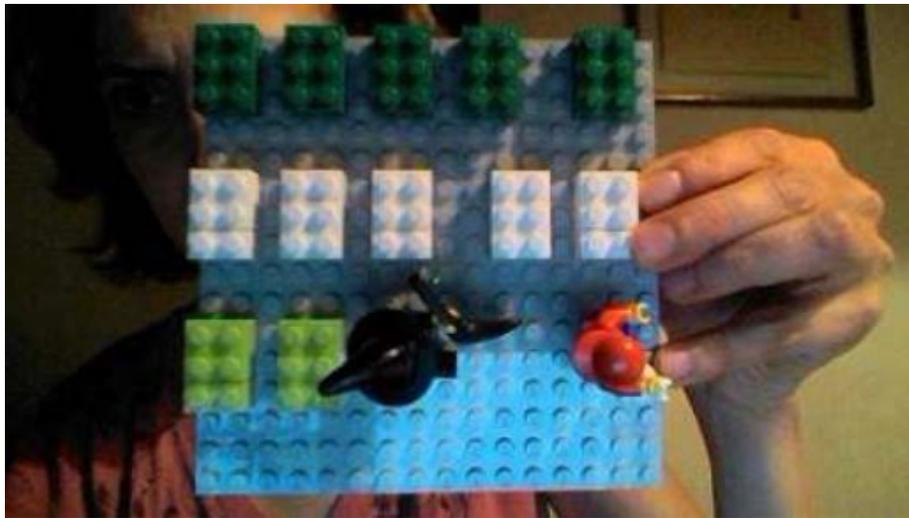


Figura 5.6: Protótipo de TUI de Sánchez García et al. (2016) (Fonte: Sánchez García et al. (2016, Fig. 1))

Esse protótipo foi rejeitado durante testes realizados com uma professora cega. Essa professora fez observações determinantes mostrando os pontos da solução que estavam inadequados. Com base na revisão de literatura e nas observações e recomendações levantadas durante os testes junto à professora cega, propuseram um conjunto de diretrizes para a construção de uma plataforma computacional de interação tangível para o letramento de crianças cegas. Essas diretrizes fazem parte do conjunto de requisitos levantados no mapeamento sistemático de literatura apresentado no Capítulo 4.

O trabalho de Sánchez García et al. (2016) também serviu de âncora para o trabalho de Forcelini et al. (2018), que apresentou uma arquitetura computacional modular mediada por um protótipo de interface de usuário tangível mínima viável e de baixo custo (Figura 5.9) para apoiar atividades de letramento braille. A TUI de Forcelini et al. (2018) inspirou o design do Braille-CM-TUI.

A TUI do Braille-CM-TUI é formada por um jogo com peças de encaixar para montar mapas conceituais tangíveis (Beal e García, 2020), além, de por algoritmos para promover uma condução interativa com o estudante. O jogo de peças é composto por peças (Figura 5.7(a)) confeccionadas em EVA branco 5mm, tamanho 3X2cm, com o caractere braille em relevo, o caractere em Português impresso em preto e encaixe tipo caixa. A base (Figura 5.7(b)) é em MDF preto tamanho 80X70cm com encaixes tipo caixa; os conectores (Figura 5.7(d)) feitos

em EVA vermelho 5mm com elásticos na mesma cor, tendo as setas em relevo na cor preta. A caixa organizadora (Figura 5.7(c)) é também em MDF de tamanho 50X50cm com divisórias (com etiquetas braille) para as peças e para os conectores, onde as peças ficam arranjadas em ordem alfabética. A quantidade de peças para cada letra foi calculada com base na frequência de ocorrência das letras em textos em Português, disponível em Aldeia Numaboa (2009). O jogo confeccionado possui ao todo aproximadamente 300 peças. Sobre a decisão da quantidade dos conectores, foi confeccionado um número que a autora desta tese acreditou ser adequado considerando mapa conceitual simples, 17.

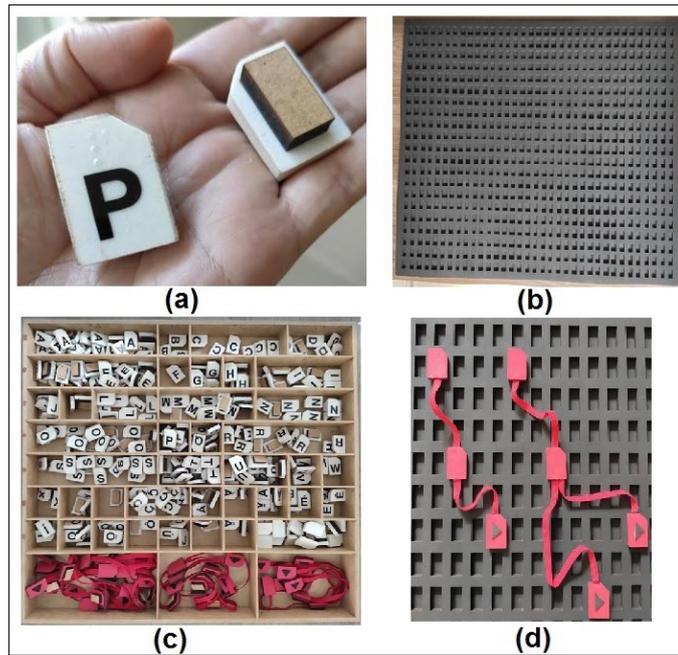


Figura 5.7: Jogo de peças de encaixar (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 2)).

Sobre a peça do tipo conector, a Figura 5.8 apresenta 4 variações: Figura 5.8(a) conector simples, para forma proposições simples (p.ex. braille - formado por -> cela braille); Figura 5.8(b) conector duplo, para formar proposições com 2 conceitos finais (p.ex. pontos em relevo - podem ser escritos com -> reglete e punção, máquina braille); Figura 5.8(c) conector triplo, para forma proposições com três conceitos finais (p.ex. tempos verbais - são -> presente, pretérito, futuro); Figura 5.8(d) conectores quádruplos, para formar proposições com 4 conceitos finais (p.ex. estações do ano - são -> primavera, verão, outono, inverno). Usando como exemplos as Figuras 5.8(c) e 5.8(d), o sistema faria a leitura das proposições da seguinte forma: "Tempos Verbais são Presente, Pretério e Futuro" (Figura 5.8(c)) e "Estações do Ano são Primavera, Verão, Outono e Inverno" (Figura 5.8(d)).

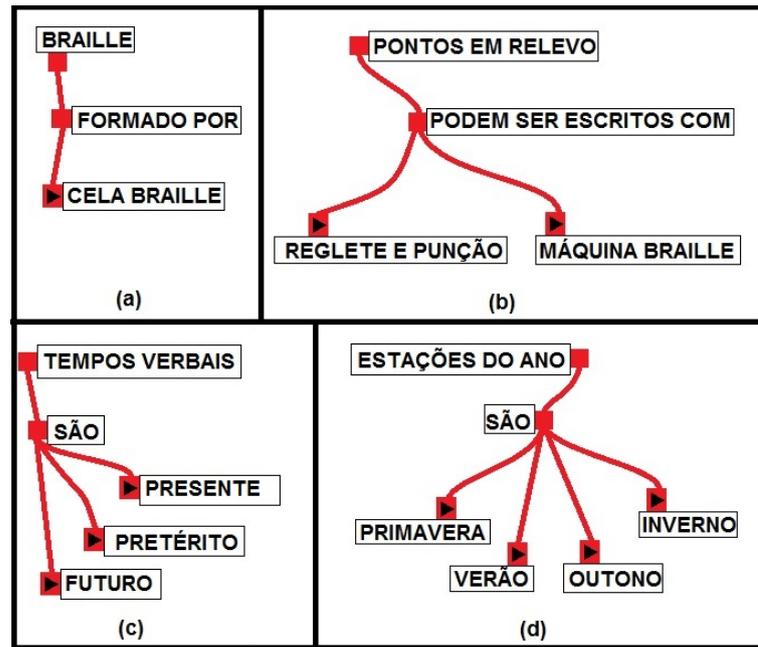


Figura 5.8: Variações das peças do tipo conector (Fonte: a autora).

As peças do jogo apresentado em Beal e García (2020) é uma nova versão das peças do protótipo da TUI de Forcelini et al. (2018), que utilizou uma versão do braille ampliado nas peças (Figura 5.9). Segundo Bruno e da Mota (2001), para a leitura tátil corrente é necessário que os pontos em relevo sejam precisos e que o seu tamanho não ultrapasse a área da ponta dos dedos. Por isso, os pontos em relevo das peças do Braille-CM-TUI foram escritos usando a reglete e o punção, instrumentos tradicionais para a escrita em braille. Além disso, buscando acessibilidade financeira, o jogo foi desenvolvido com materiais de baixo custo utilizados na fabricação de jogos pedagógicos conhecidos no meio escolar, tais como EVA, MDF e elásticos. O braille foi escrito em folha plástica transparente na qual também foi impressa a letra do alfabeto em Português usando impressora jato de tinta. Essa folha foi fixada no EVA com fita dupla face. Os cortes do EVA e da base foram feitos em máquina com corte a laser em uma marcenaria (Beal e García, 2020).



Figura 5.9: Protótipo de TUI mínima em EVA e MDF de Forcelini et al. (2018) (Fonte: Forcelini et al. (2018, Fig. 2, p. 43))

O jogo apresentado em Beal e García (2020) faz parte da TUI do ambiente apresentado nesta tese, onde a entrada é realizada por visão computacional. Uma câmera posicionada acima da base de montagem do jogo faz imagens dos mapas conceituais montados pelos estudantes e utiliza algoritmos que fazem o reconhecimento via processamento digital de imagem, a interpretação via reconhecimento óptico de caracteres do mapa e fornecem feedback de áudio ao estudante. Desta forma, para facilitar o trabalho desses algoritmos, foram utilizadas as cores de contraste preto, vermelho e branco, além disso, as letras impressas nas peças (Beal e García, 2020).

Além do jogo de peças, o estudante interage com o ambiente por meio de um teclado, pelo qual ele solicita feedback do sistema. Esse teclado possui 7 teclas com as seguintes opções:

- A Leitura do menu de opções: é a leitura por síntese de voz das opções que o estudante pode acionar no ambiente via teclado;
- B Leitura do enunciado da atividade: é a leitura por síntese de voz do enunciado da atividade e da lista de conceitos, caso houver;
- C Leitura do mapa: é a leitura via síntese de voz das proposições do mapa conceitual;
- D Validação da atividade: verifica se o mapa construído atende ao que foi solicitado na atividade e fornece feedback de áudio para o estudante;
- E Resposta falada: faz a gravação da resposta falada pelo estudante. Algumas atividades de apresentação de mapas podem ter questões para o estudante responder oralmente;
- F Finalizar a atividade: é para determinar a atividade como concluída;
- G Cancelar: é para cancelar a atividade e sair.

A Figura 5.10 apresenta o processo "realizar uma atividade" no Braille-CM-TUI. Os envolvidos no processo são o professor, a TUI e o estudante.

O processo da Figura 5.10 se inicia com o professor que informa os dados do estudante que irá realizar a atividade, seleciona uma sequência didática ("Selecionar SD") criada por ele na ferramenta de autoria, depois seleciona uma das atividades da sequência didática. Na sequência, ele seleciona manualmente os recursos (em braille ou formato digital acessível) para o estudante fazer a atividade e depois prepara a base de montagem do jogo (monta o mapa da atividade caso houver, ou deixa a base totalmente vazia). Logo em seguida a atividade é iniciada na TUI.

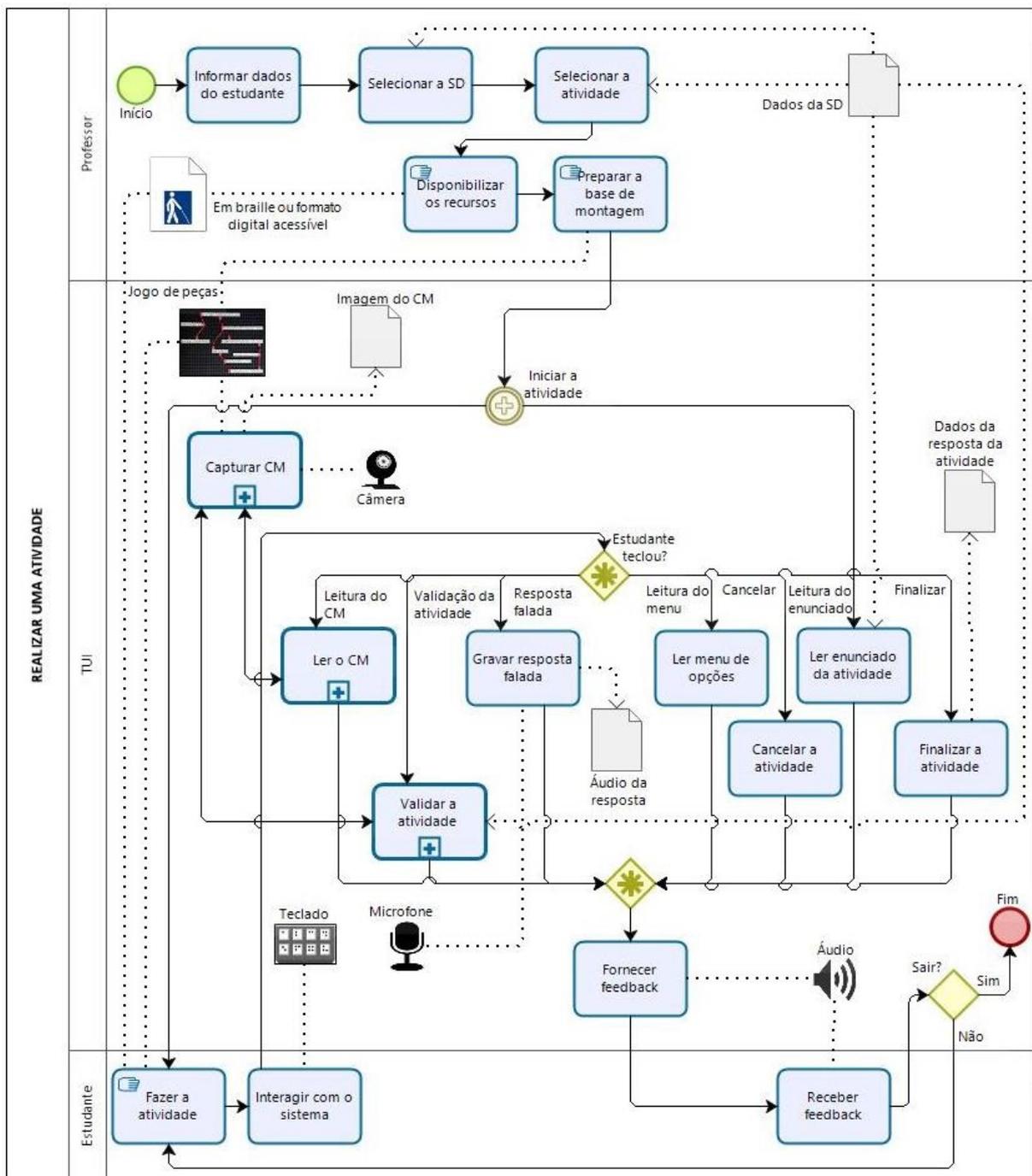


Figura 5.10: Realizar uma atividade no Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Ao iniciar a atividade, a tarefa "Ler enunciado da atividade" é executada e chama a tarefa "Fornecer feedback" para fazer a leitura por síntese de voz do enunciado e da lista de conceitos (quando existir) para o estudante. Em paralelo o estudante executa a tarefa "Fazer a atividade". Enquanto faz a atividade, o estudante pode "Interagir com o sistema" usando o teclado:

- Se o estudante teclar para ouvir a leitura do mapa conceitual ("Leitura do CM") o sistema executa a tarefa ler o mapa conceitual ("Ler o CM"). A leitura do mapa conceitual consiste na leitura de suas proposições. Para obter as proposições do mapa, o sistema executa a tarefa capturar mapa conceitual ("Capturar CM"); é ela que obtém a lista das

proposições a partir da imagem do mapa conceitual ("Imagem do CM"). Após obter as proposições, o sistema faz a validação. Um mapa válido possui uma ou mais proposições, as proposições são completas (com conceito inicial, rótulo e conceito final); os conceitos são formados por classes gramaticais do tipo substantivos ou formas nominais e os rótulos por classes gramaticais de tipo verbos. A tarefa "Fornecer feedback" faz a leitura das proposições do mapa ou das inconsistências quando o mapa for inválido;

- Se o estudante teclar "Validação da atividade", o sistema executa a tarefa "Validar a atividade". Para isso, o sistema executa a tarefa de captura do mapa conceitual ("Capturar CM") e a validação do mesmo; em seguida, verifica se o estudante fez a atividade. Uma atividade é validada de acordo com o seu tipo: se atividade de completar mapa conceitual ("completar CM"), é válida quando acrescentados conceitos ao mapa da atividade; se atividade de corrigir mapa conceitual ("corrigir CM"), é válida quando o número de modificações no mapa corresponde ao número de erros indicado na atividade; se atividade de apresentação de mapa conceitual ("Apresentar CM") com questão para ser respondida no enunciado, é válida quando o estudante grava o áudio da resposta; por fim, se atividade de construir mapa conceitual ("Construir CM"), é válida se existir ao menos uma proposição completa no mapa. Se a atividade for validada, a tarefa "Fornecer feedback" envia ao estudante a mensagem de atividade válida ou mensagem de inconsistência com a atividade;
- Se estudante teclar "Resposta falada", o sistema executa a tarefa "Gravar resposta falada". Essa tarefa grava a resposta oral do estudante na forma de texto. Assim que a gravação é realizada, a tarefa "Fornecer feedback" faz a leitura da resposta (texto gravado) para o estudante. Caso o estudante queira mudar a resposta, ele pode teclar "Responder" novamente para sobrescrever;
- Se o estudante teclar "Leitura do menu de opções" o sistema executa a tarefa "ler menu de opções". Ler o menu significa fazer a leitura das opções que o estudante tem para interagir com o sistema. A tarefa "Fornecer feedback" é que faz a leitura ao estudante;
- Se o estudante teclar "Cancelar", o sistema cancela a atividade, o estudante recebe feedback do cancelamento e o sistema é encerrado;
- Se o estudante teclar "Leitura do enunciado", ele recebe feedback da leitura do enunciado da atividade;
- Por fim, se o estudante teclar "Finalizar", o sistema executa a tarefa "Finalizar a atividade", os dados sobre a realização da atividade e as respostas são gravados no JSON "Dados da resposta da atividade" (que tem sua estrutura apresentada na Figura 5.11), o estudante recebe feedback sobre a finalização, a atividade é concluída e o sistema encerrado.

```

{
  "Execucao de Atividade": {
    "id": 1,
    "Estudante": "",
    "Serie": "",
    "id_SD": 0,
    "id_Atividade": 0,
    "MapaConceitual_Estudante":null,
    "Audio_Resposta":null
  }
}

```

Figura 5.11: Representação das informações da resposta da uma atividade (Fonte: a autora).

Para executar uma nova atividade, o processo "Realizar uma atividade" deve ser iniciado novamente pelo Professor. As tarefas que representam subprocessos (retângulos azuis com o símbolo +) da Figura 5.10 são descritas a seguir:

- **Capturar CM:** essa tarefa captura a imagem do mapa conceitual montado na base e extrai a lista de proposições desse mapa usando algoritmos de visão computacional (Figura 5.12). Esses algoritmos realizam o Processamento Digital de Imagens (PDI) da imagem do mapa conceitual para segmentar (separar) as proposições que compõe o mapa. O PDI compreende um conjunto de técnicas para a análise, manipulação e modificação de imagens digitais a partir de um computador e tem como objetivo principal facilitar a extração e o reconhecimento de informações (conceitos e conectores, p.ex.) em imagens para posterior interpretação (Facon, 2006). Além desses algoritmos, outros algoritmos de Reconhecimento Óptico de Caracteres (em inglês, *Optical Character Recognition - OCR*) convertem a imagem das proposições segmentadas em texto:
 - Capturar imagem: uma câmera posicionada acima da base de montagem é usada para fazer a imagem do mapa ("imagem do MC");
 - Pré-processar a imagem: consiste em aplicar filtros para melhorar a qualidade da imagem do mapa conceitual ("imagem do MC"). Além disso, remover ruídos, realçar bordas e contornos da base, dos conectores e dos conceitos, gerando uma imagem pré-processada ("Imagem pré-processada");
 - Segmentar a imagem: usa a "Imagem pré-processada" para separar o fundo da imagem dos conectores e conceitos, que são os objetos de interesse. Na sequência, rotula esses objetos em uma imagem segmentada ("Imagem segmentada").
 - Informar sobre algo obstruindo a imagem do CM: tem como objetivo verificar se a borda da base na imagem do mapa conceitual apresenta descontinuidade. Mãos e braços sobre a base podem obstruir a imagem do mapa conceitual;
 - Extrair o texto da imagem segmentada: Se nada estiver obstruindo a imagem do mapa, extrair o texto das proposições da imagem segmentada e retorna uma lista dessas proposições ("Lista de Proposições").
- **Validar o CM:** esse processo faz a validação do mapa conceitual com base na lista de proposições (Figura 5.13). Utiliza algoritmos de Processamento de Linguagem Natural (PLN) para verificar a gramática usada na construção do mapa. Primeiramente é verificado se a construção corresponde a um mapa conceitual com uma ou mais proposições completas (i.e., com conceito inicial, rótulo e conceito final). Em seguida,

verifica a gramática utilizada nos conceitos e nas frases de ligação (rótulos). Em um mapa conceitual os conceitos geralmente são substantivos ou formas nominais de verbo (infinitivo, particípio ou gerúndio). Já os rótulos são verbos, ou frases verbais, que explicam a relação. Desta forma, esses algoritmos verificam se foi feito o emprego destas classes (substantivos, formas nominais de verbos e verbos) na construção das preposições, para isso, utilizam bibliotecas para fazer a chamada etiquetagem morfosintática (em inglês, *Part-of-Speech Tagging* ou *POS Tagging*) que é um processo que utiliza a colocação de etiqueta (*tag*) para identificar as categorias das palavras de uma sentença de acordo com suas classes morfológicas (substantivo, verbo, particípio, entre outros) (Bird e Loper, 2002). As tarefas do processo que faz a validação do mapa conceitual ("Validar CM") são as seguintes:

- Encaminhar feedback sobre a lista: se a lista de proposições estiver vazia significa que o mapa está em branco e não é mapa válido e encaminha o feedback "seu mapa está em branco";
 - Encaminhar feedback sobre as proposições: se a lista não estiver vazia, mas existir alguma proposição incompleta o mapa é inválido e encaminha o feedback "seu mapa possui proposições incompletas";
 - Verificar a gramática: se a lista não está vazia e não existe proposição incompleta, essa tarefa faz a verificação da gramática empregada nos conceitos e rótulos das proposições da lista;
 - Encaminhar feedback sobre os conceitos: caso os conceitos não sejam substantivos ou formas nominais, encaminha o feedback "o conceito X não é um substantivo ou forma nominal";
 - Encaminhar feedback sobre os rótulos: caso os rótulos não tenham verbos, encaminha o feedback "o rótulo X não tem verbo";
 - Ordenar a lista pela hierarquia do CM: se a gramática estiver correta, ordenar a lista de proposições pela ordem da hierarquia do mapa conceitual.
- **Ler o CM:** significa fazer a leitura do mapa conceitual, ou seja, a leitura da lista de proposições do mapa (Figura 5.14) que é obtida pela tarefa que realiza a captura do mapa conceitual ("Capturar CM"):
 - Encaminhar feedback sobre a captura do CM: se a captura do mapa conceitual (Figura 5.12) não foi bem sucedida, encaminha feedback sobre a captura;
 - Validar o CM: se a captura foi bem sucedida, faz a validação do mapa conceitual (Figura 5.13);
 - Encaminhar feedback sobre o CM: se o mapa conceitual não é válido, encaminha feedback sobre a validação do mapa;
 - Encaminhar feedback leitura das proposições: se o mapa é válido, encaminha feedback para fazer a leitura das proposições do mapa.
 - **Validar a atividade:** a validação da atividade consiste em verificar se o estudante fez a atividade de acordo com o tipo informado na atividade. Para isso, esse processo utiliza a lista de proposições obtidas da captura do mapa conceitual do estudante. A Figura 5.15 mostra as tarefas do processo:

- Encaminha feedback sobre a captura: se a captura do mapa do estudante não foi bem sucedida, encaminha feedback sobre ela;
- Validar o CM: se o mapa conceitual foi capturado com sucesso, faz a validação do mapa;
- Encaminhar feedback sobre o CM: se o mapa conceitual não é válido, encaminha feedback;
- Verifica o tipo da atividade: verifica o tipo de atividade registrada nos dados da sequência didática ("Dados da SD");
- Comparar CM da atividade com o CM do estudante: se o tipo de atividade for "Completar CM", compara o mapa conceitual do estudante com o mapa conceitual da atividade;
- Encaminhar feedback sobre CM foi completado: se os mapas conceituais não são iguais, a atividade não possui lista de conceitos, ou possui lista e os conceitos foram usados, encaminha o feedback "Atividade válida, foram adicionados conceitos ao mapa conceitual";
- Encaminhar feedback sobre CM iguais: se os mapas conceituais são iguais, significa que não foram feitas modificações e encaminha o feedback "nenhum conceito foi adicionado ao CM";
- Verificar conceitos usados: Se os mapas são diferentes e a atividade possui lista de conceitos, verifica os conceitos adicionados;
- Encaminhar feedback sobre conceitos fora da lista: se foram usados conceitos fora da lista, encaminha o feedback "você adicionou conceitos que não constam na lista do professor";
- Calcular o nº de diferenças entre os CM: se a atividade é "Corrigir CM", calcula o número de diferenças entre os mapas conceituais, ou seja, calcula quantas proposições são diferentes;
- Encaminhar feedback sobre correções a mais: se a diferença é maior que o nº de erros indicado na atividade, encaminha o feedback "você realizou X correções a mais que o solicitado na atividade";
- Encaminhar feedback sobre correções faltando: se a diferença é menor que o nº de erros indicado na atividade encaminhar o feedback "você não realizou todas as correções, faltam X";
- Encaminhar feedback sobre correção realizada: se a diferença for igual ao número de erros indicado na atividade, encaminha o feedback "as correções foram realizadas";
- Encaminhar feedback sobre a apresentação: se o tipo da atividade é "Apresentar CM" sem a necessidade de resposta falada, ou a resposta tenha sido gravada, encaminha o feedback "atividade válida";
- Verificar áudio da resposta: se o tipo de atividade for "Apresentar CM" e com resposta falada, verifica se o estudante gravou o áudio da resposta;
- Encaminha feedback sobre a resposta falada: se áudio da resposta não foi gravado, encaminha feedback "você não respondeu a pergunta do enunciado";
- Encaminhar feedback de construção válida: se o tipo da atividade é "Construir CM", encaminha o feedback "sua atividade de construir CM é válida".

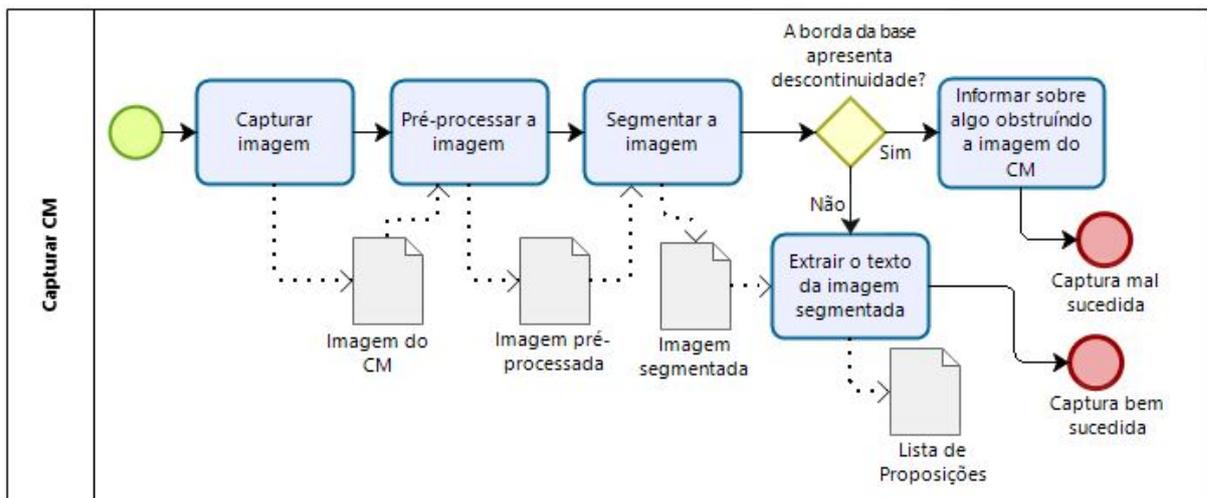


Figura 5.12: Tarefa Capturar CM (Fonte: a autora).

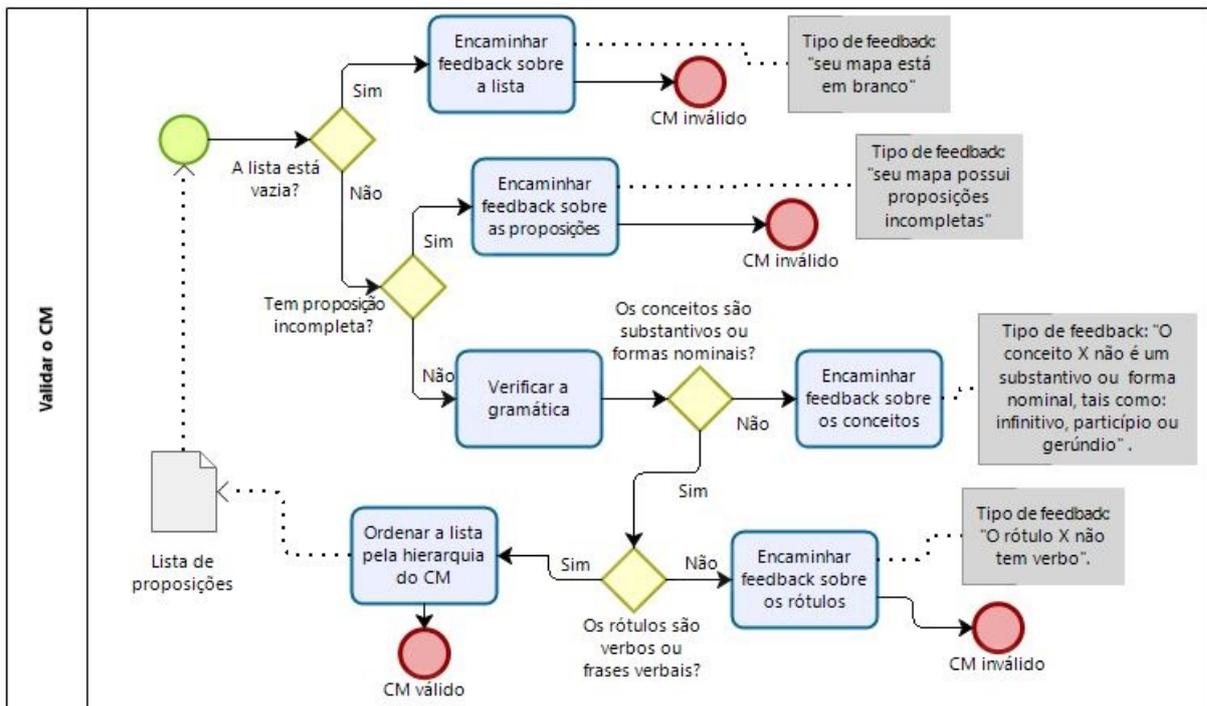


Figura 5.13: Tarefa validar o CM (Fonte: a autora).

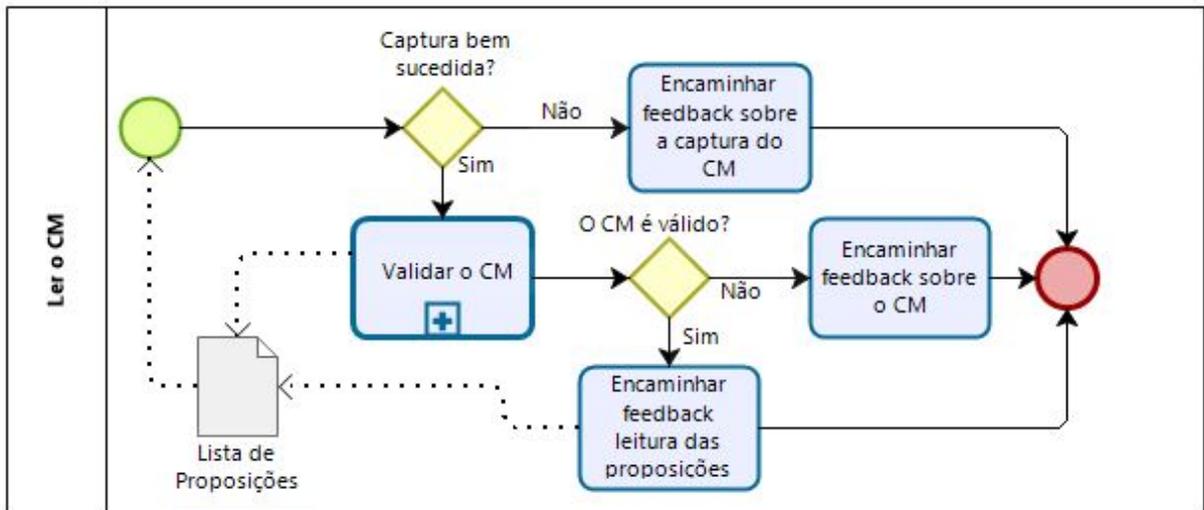


Figura 5.14: Tarefa Ler o CM (Fonte: a autora).

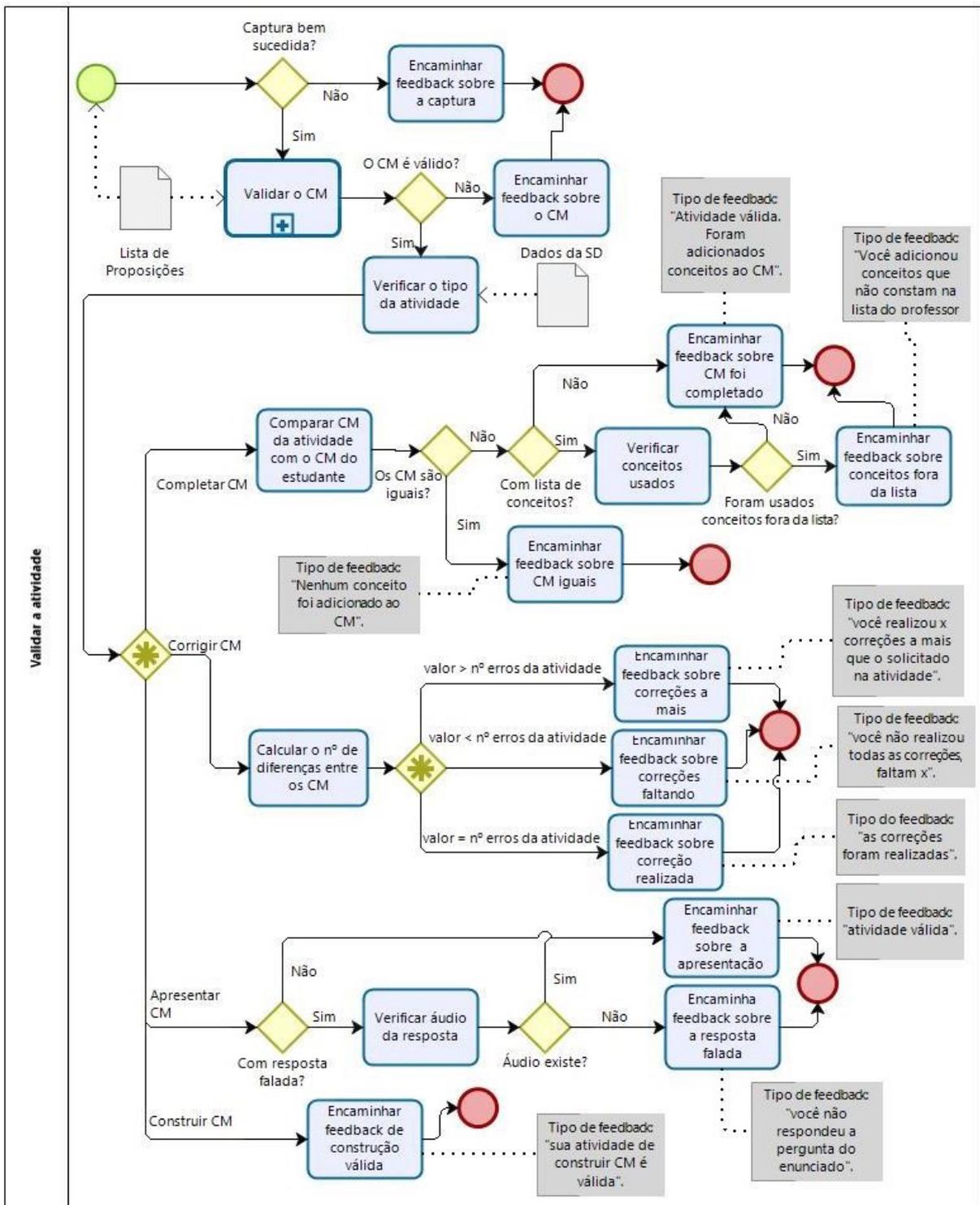


Figura 5.15: Tarefa validar a atividade (Fonte: a autora).

O Braille-CM-TUI não avalia, não corrige e não dá nota para o mapa conceitual do estudante. Esse procedimento deve ser realizado pelo professor após analisar as atividades do estudante. Pode-se estudar em trabalhos futuros formas de fazer avaliações automáticas com pontuações. Um exemplo que pode ser usado é o método de pontuação estrutural de Novak, que pontua preposições corretas, a presença de diferentes níveis de hierarquia, a presença de ligações cruzadas e exemplos dados pelos alunos, encontrados no mapa (Novak et al., 1984). Além disso, o principal objetivo dos feedbacks é orientar uma condução interativa com o sistema. Não tem o

propósito de realizar intervenções no sentido de auxiliar o estudante a encontrar uma resposta para a sua atividade. Nestes casos, para trabalhos futuros pode-se desenvolver módulos de Sistema Tutor Inteligente (STI) para essa finalidade.

5.2 REQUISITOS QUE ORIENTARAM O DESIGN

Os requisitos que orientaram o design do Braille-CM-TUI foram obtidos a partir de revisão de literatura e apresentados nas Tabelas 3.1 e 4.2. A seguir, é descrito como cada um deles foi atendido no projeto:

- **Utilizar feedback de áudio e itens sonoros no mapa conceitual** (Tabela 3.1): o padrão para feedbacks fornecidos pelo Braille-CM-TUI é áudio e também itens sonoros (beep,p.ex) para indicar quando alguma tarefa está sendo executada pela TUI;
- **Trabalhar com mapas conceituais pequenos, táteis, em áudio e em braille** (Tabela 3.1): o jogo de peças de encaixar do Braille-CM-TUI é para mapas tangíveis, pequenos e com informações em braille;
- **Os objetos tangíveis devem ser estáveis e com encaixes fortes e firmes para não desmontar facilmente** (Tabela 4.2): os encaixes no jogo são tipo caixa e com profundidade suficiente para se manterem estáveis e não desencaixar;
- **O tamanho dos tangíveis deve ser adequado para a percepção tátil, tangíveis muito pequenos ou ampliados podem não ser reconhecidos** (Tabela 4.2): o tamanho das peças são adequados para as mãos de crianças e adolescentes, possuem o canto tátil para indicar posição de leitura e o caracter braille é perceptível pela ponta do dedo;
- **A base ou área de trabalho deve ter tamanho que permita construções significativas conforme contexto de uso** (Tabela 4.2): o tamanho da base de encaixar é suficiente para a construção de mapas simples, porém significativos;
- **Usar linhas de referência na base de montagem da TUI para facilitar o alinhamento dos tangíveis** (Tabela 4.2): a base de montagem tem a forma de uma grade que possibilita o encaixe alinhado das peças.
- **Utilizar uma caixa organizadora para facilitar a localização dos tangíveis durante o uso da TUI** (Tabela 4.2): as peças do jogo de encaixar ficam organizadas em uma caixa, em divisórias com etiqueta braille de identificação da peça e organizadas em ordem alfabética para facilitar a localização;
- **Dar preferência às tecnologias e materiais de baixo custo para a construção dos tangíveis** (Tabela 4.2): os tangíveis do Braille-CM-TUI são feitos de materiais de baixo custo que são utilizados em jogos pedagógicos (EVA, MDF e elásticos de costura);
- **Possibilitar ao professor formas e métodos "Do-It-Yourself" para ele construir os objetos tangíveis** (Tabela 4.2): a descrição detalhada de como a TUI foi construída presente nesta tese, possibilita ao professor, ele mesmo construir ou consertar os tangíveis (quando estes forem danificados). Além disso, a ferramenta de autoria que permite ao professor criar as suas próprias sequências didáticas;

- **O design e o desenvolvimento do ambiente TUI devem ser realizados em conjunto com designers e professores de crianças cegas** (Tabela 4.2): a pesquisa-ação desenvolvida nesta tese levou o Braille-CM-TUI para dentro de duas escolas onde 4 estudantes com cegueira e duas professoras especializadas fizeram o seu uso;
- **Prezar pela qualidade estética visual, auditiva e tátil, pois é benéfico para a inclusão e pode desencadear emoções positivas** (Tabela 4.2): o cuidado com a confecção da TUI e os cortes precisos a laser nas peças foram feitos para dar qualidade ao projeto;
- **O processo de interação deve utilizar recursos multimodais e recursos multimídia para melhorar e enriquecer a comunicação durante o processo de utilização** (Tabela 4.2): no Braille-CM-TUI foram utilizados interação por teclado, feedback de áudio e resposta falada;
- **A TUI deve fornecer interação mais natural possível e levar em consideração as habilidades motora e cognitiva de crianças cegas** (Tabela 4.2): a TUI foi projetada para explorar os sentidos do tato e da audição, sendo o tato o sentido mais importante de uma pessoa com cegueira;
- **O sistema deve fornecer feedback para orientar, motivar e dar autonomia para a criança durante o uso da TUI** (Tabela 4.2): os feedbacks do Braille-CM-TUI tem o propósito de orientar o estudante durante a realização das atividades com mapas conceituais para que ele possa desenvolver a atividade sozinho sem dependência do(a) professor(a);
- **As atividades de letramento devem ser planejadas para serem significativas e suportar trabalhos interativos e colaboração** (Tabela 4.2): a ferramenta de autoria foi criada para o professor poder planejar as atividades de mapas conceituais a serem realizadas na TUI;
- **Os cenários de uso devem ser lúdicos e envolver as crianças, de preferência via jogos** (Tabela 4.2): a utilização de um jogo de peças de encaixar para construir mapas conceituais em braille tem o propósito de trazer a ludicidade.

5.3 O PROTÓTIPO

Foram desenvolvidos dois protótipos para o Braille-CM-TUI, o primeiro deles foi uma versão funcional que seria instalada na SRM para professores especializados e estudantes com cegueira fazerem o uso e experimentação. Porém, com a pandemia do Novo Coronavírus (Covid-19), as escolas foram fechadas por tempo indeterminado inviabilizando a etapa de experimentação do protótipo funcional nas escolas.

Diante dessa situação, foi desenvolvido um segundo protótipo usando a técnica do Mágico de Oz¹ para possibilitar a realização dos experimentos de forma remota pelos professores especializados.

Para a ferramenta de autoria foi utilizado o protótipo em papel. Para desenhar as telas foi usada a IDE NetBeans. A tela que mostra como fazer a impressão de uma atividade em braille é um *print screen* da tela da atividade aberta no Braille Fácil. O protótipo da TUI é formado pelo jogo de peças de encaixar da Figura 5.7 mais o protótipo do teclado da Figura 5.16. O

¹O termo Mágico de Oz foi criado por Jeff Kelley por volta de 1980 para descrever o método de experimentação que ele usou em sua dissertação na Universidade de Johns Hopkins.

teclado possui 7 botões identificados pelas letras de A até G que correspondem as opções de interação com o sistema. O botão identificado pela letra A é para acionar a opção "Leitura do menu de opções", o botão com letra B para "Leitura do enunciado da atividade, o botão da letra C para "Leitura do CM", botão da letra D para "Validação da atividade", botão da letra E para "Resposta falada", botão da letra F para "Finalizar a atividade" e botão da letra G para "Cancelar" a atividade e sair. Além das letras, os botões estão identificados pelos caracteres braille. Ao lado de cada botão tem a legenda, em Português e em braille, da descrição do que eles acionam. Os botões foram posicionados um abaixo do outro, com as respectivas legendas ao lado, seguindo o modo de leitura do braille e do Português, da esquerda para a direita.

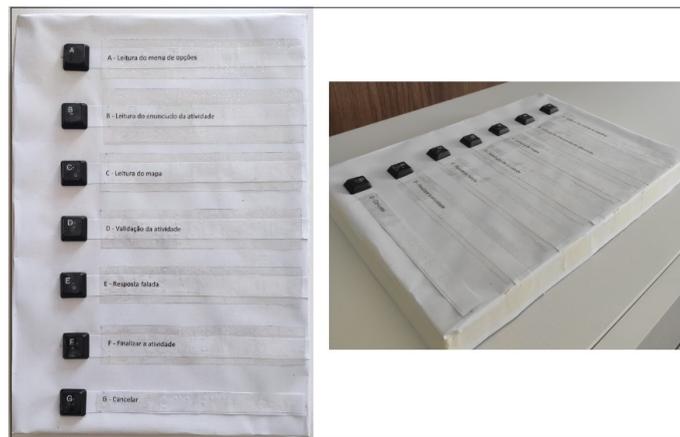


Figura 5.16: Protótipo do teclado da TUI (Fonte: a autora).

A Figura 5.17 mostra as telas da ferramenta de autoria para "Criar uma Sequência Didática". As setas em vermelho indicam a ordem de preenchimento dos campos.

Criar Sequência Didática

id: ← Início

Tema:

Objetivos:

Conhecimentos prévios:

Recursos:

Adicionar Atividade

Salvar Cancelar

Fim

Criar Atividade

id:

Enunciado:

Lista de conceitos:

Tipo da Atividade:

Apresentar CM Completar CM Corrigir CM Construir CM

Elaborar CM

Imagem do CM:

Nº de erros: Com resposta falada?

Salvar Cancelar

Elaborar CM

Capturar CM

Imagem do CM na base de montagem:

Figura 5.17: Protótipo das telas da ferramenta de autoria para "Criar uma sequência didática" (Fonte: a autora).

Conforme a Figura 5.17, a primeira tela é "Criar Sequência Didática". O primeiro campo é o id que é um campo de preenchimento automático pelo sistema; o segundo campo é o Tema da sequência didática, seguido dos campos Objetivos, Conhecimentos prévios e Recursos. Na sequência, o botão Adicionar atividade. Ao clicar nesse botão, abre-se a tela "Criar Atividade". O primeiro campo da tela "Criar Atividade" é o id (de preenchimento automático) e o segundo é o Enunciado. Caso o estudante tenha que responder a alguma pergunta sobre a atividade, essa pergunta deve ser informada no Enunciado. O terceiro campo é Lista de conceitos. Se o professor desejar fornecer uma lista de conceitos para ser usada no mapa da atividade, ele pode informar nesse campo, porém, é opcional. O quarto campo a ser preenchido é sobre o Tipo de atividade. O professor deve marcar um dos tipos: Apresentar CM, Completar CM, Corrigir CM ou Construir CM. Os campos seguintes serão ativados na tela conforme o tipo de atividade selecionado. Se o tipo selecionado for Apresentar CM, Completar CM ou Corrigir CM o botão Elaborar CM será ativado. Ao clicar nesse botão, abre-se a tela "Elaborar CM". Essa tela mostra o visor da câmera que deverá estar focando a base de montagem do jogo de peças. O professor deverá elaborar o CM da atividade usando o jogo e, ao terminar, deverá clicar no botão Capturar CM na tela "Elaborar CM". Ao clicar nesse botão, a tela fecha e volta para a tela "Criar Atividade". A imagem do mapa conceitual capturada é exibida no campo Imagem do CM (campo somente de exibição). A seguir, se o tipo de atividade selecionado foi Corrigir CM, o campo Nº de erros é ativado para preenchimento, porém, se o tipo for Apresentar CM, o campo com resposta falada será ativado. Na sequência, o professor pode clicar nos botões Salvar ou Cancelar. Se ele optar por Cancelar, o sistema enviará a mensagem "Tem certeza que deseja cancelar a atividade? Todos os dados serão perdidos!". Se optar por Salvar, o sistema fará uma verificação de se todos os campos foram preenchidos. Se o campo Enunciado, por exemplo, estiver em branco, o sistema irá apresentar a mensagem "Informe o enunciado da atividade para prosseguir!". Se todos os campos tiverem sido preenchidos, o sistema enviará a mensagem "Atividade gravada com sucesso!", a janela fecha-se e volta para a tela "Criar Sequência Didática". Se o professor desejar cadastrar mais uma atividade para a sequência didática, ele só precisará clicar novamente no botão Adicionar Atividade. Caso queira finalizar a sequência didática, deverá clicar no botão Salvar, ou no botão Cancelar para sair sem gravar a sequência didática. Se optar por Salvar, o sistema irá verificar se todos os campos foram preenchidos e se ao menos uma atividade foi adicionada à sequência didática. Caso não tenha sido adicionada atividade, o sistema enviará a mensagem "Você deve adicionar ao menos uma atividade à sequência didática!".

A Figura 5.18 mostra o protótipo das telas da ferramenta de autoria para "Realizar uma atividade". O professor inicia informando os dados do estudante, primeiro o nome, depois a série e a escola. Na sequência ele seleciona uma sequência didática na lista. Logo em seguida, seleciona uma das atividades da sequência na lista. Logo após, ele pode clicar nos botões Fazer a atividade ou Cancelar. Se ele optar por cancelar, o sistema cancela todo o processo e fecha a janela. Porém, se optar pelo botão Fazer a atividade, será aberta a janela "Atenção!" advertindo o Professor com a seguinte mensagem: "Professor, você já preparou a base de montagem e disponibilizou ao estudante os recursos para realizar a atividade?". Se o professor clicar no botão Sim, a janela "Atenção" fecha-se e a atividade é iniciada na TUI. Caso ele clique em Não, a janela "Atenção!" fecha-se e volta para a tela "Realizar uma atividade", que será cancelada.

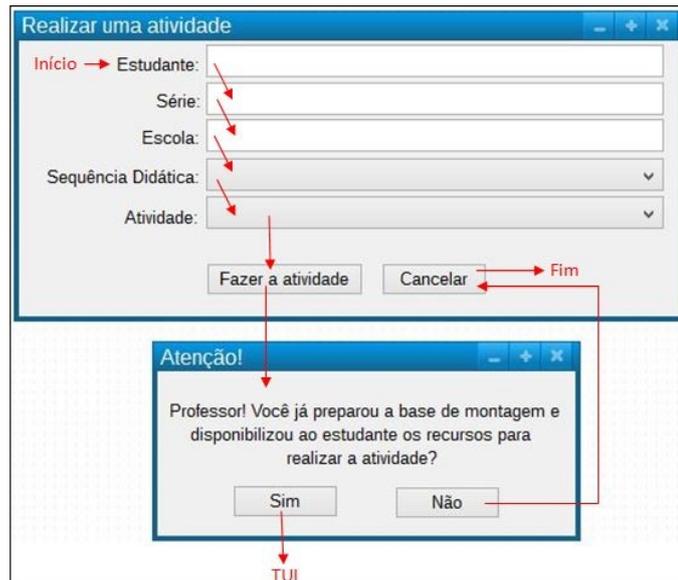


Figura 5.18: Protótipo da tela "Realizar uma atividade" da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Ao iniciar a atividade na TUI, o estudante ouve: *Iniciando a atividade...[o enunciado]...Quando você quiser ajuda tecler A. Após o beep você pode começar. Boa atividade![beep].*

Se o estudante teclar A, ele vai ouvir: *Tecla A: ouvir menu de opções...Digite A para ouvir o menu de opções novamente, B para ouvir o enunciado da atividade, C para ouvir o mapa, D para validar a atividade, E para responder, F para finalizar a atividade e G para cancelar e sair,após o beep.[beep].*

Se o estudante digitar B ele vai ouvir: *Opção B - ouvir enunciado da atividade...[enunciado].* Se digitar C vai ouvir: *Opção C - ouvir o mapa....aguarde isso pode levar alguns segundos...beep...beep...beep...[leitura das proposições do mapa da base].* Se digitar D vai ouvir: *Opção D - validar a atividade...aguarde isso pode levar alguns segundos...beep...beep...beep...[feedback da validação].* Se digitar E ele vai ouvir: *Opção E - após o beep você pode responder beep...[resposta oral do estudante]...[feedback da resposta falada].* Se digitar F ele vai ouvir: *Opção F - Finalizar...[som de finalização].* Se digitar G vai ouvir: *Tecla G...saiu [beep].*

A Figura 5.19 mostra o protótipo das telas da ferramenta de autoria para imprimir uma atividade em braille. A impressão é realizada via Braille Fácil conectado a uma impressora braille.

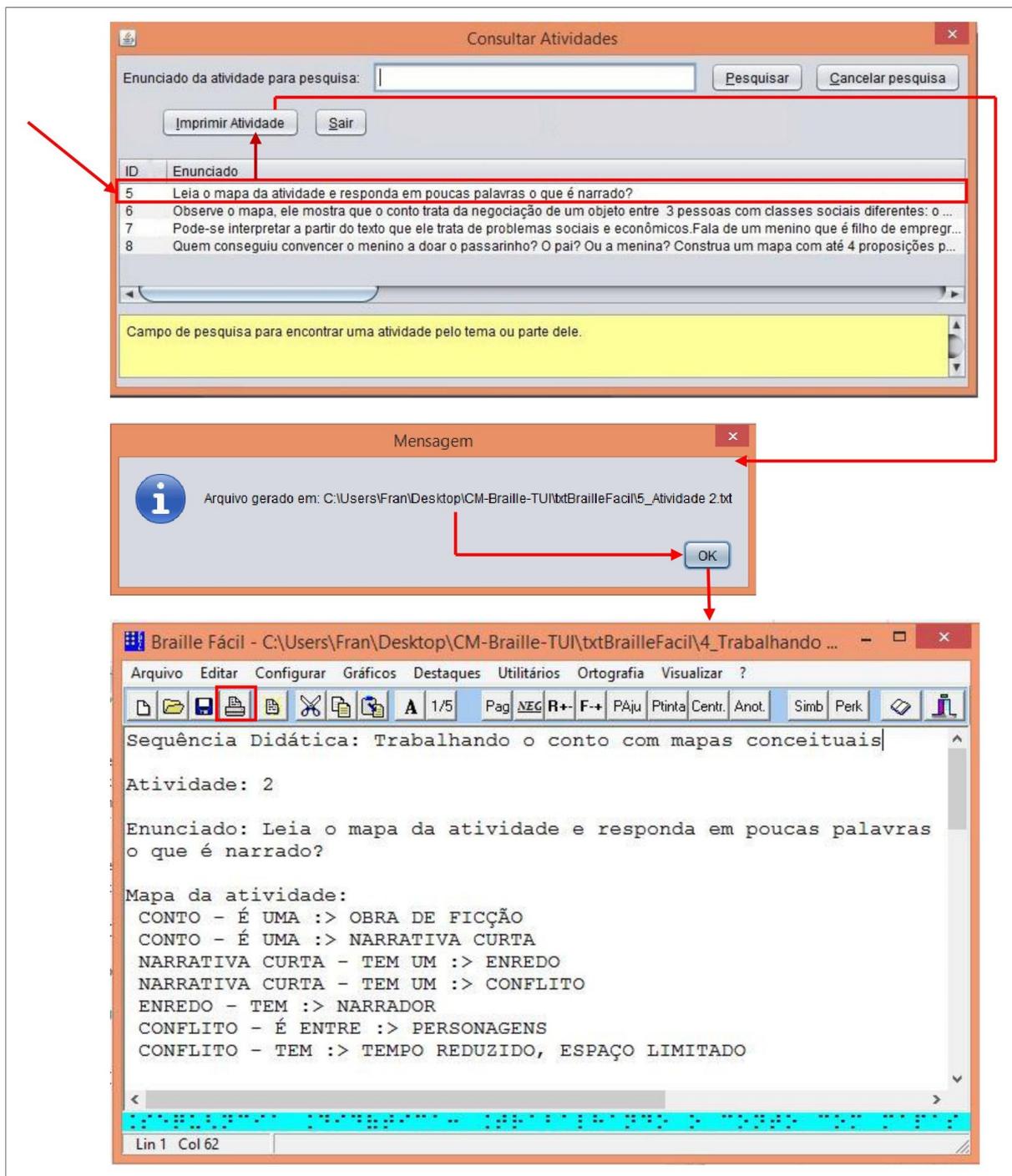


Figura 5.19: Imprimir uma atividade na ferramenta de autoria via Braille Fácil (Fonte: a autora).

De acordo com a Figura 5.19, o professor seleciona uma atividade para impressão em uma janela de consulta de atividades, com a atividade selecionada ele clica no botão "Imprimir Atividade", em seguida, a ferramenta de autoria gera um arquivo texto com os dados da atividade. O professor localiza o arquivo no disco e abre no software Braille Fácil, na sequência, clica no botão da impressora.

5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foi descrito o ambiente computacional Braille-CM-TUI para estudante com cegueira construir mapa conceitual usando o braille. Este ambiente é para ser usado em SRM e seus usuários são o professor do AEE e o estudante com cegueira. O framework conceitual do ambiente foi apresentado. O ambiente é composto por uma ferramenta de autoria onde o professor cadastra sequência didática de atividades de mapas conceituais. Essas atividades podem ser do tipo: apresentar um mapa conceitual (Apresentar CM), completar um mapa conceitual (Completar CM), corrigir um mapa conceitual (Corrigir CM) ou construir um mapa conceitual (Construir CM). As atividades da sequência didática são desenvolvidas pelos estudantes na TUI do ambiente por meio de um jogo de peças de encaixar para montar mapa conceitual. Conforme o estudante realiza as atividades e interage com o ambiente, ele recebe feedbacks auditivos. Os processos de criar uma sequência didática na ferramenta de autoria, realizar uma atividade na TUI e imprimir uma atividade em braille foram apresentados.

O capítulo apresentou também a forma pela qual os requisitos elicitados nos Capítulo 3 e 4 foram implementados no Braille-CM-TUI. Além disso, foi apresentado o protótipo utilizado na pesquisa-ação desenvolvida nesta tese. Primeiramente, foi desenvolvido um protótipo funcional que seria instalado e usado em SRM, porém, devido à pandemia do Novo Coronavírus, houve a necessidade de realizar mudanças no projeto, e um segundo protótipo foi desenvolvido para a realização de experimentação remota.

6 A PESQUISA-AÇÃO

Para saber se o Braille-CM-TUI (do Inglês, *Braille-Concept Maps - Tangible User Interface*) era capaz de resolver alguma dificuldade sentida ou uma carência identificada em relação aos mapas conceituais que professores do Atendimento Educacional Especializado (AEE) e estudantes com cegueira gostariam de mudar ou melhorar, foi realizada uma pesquisa-ação. Além de por esse motivo, também porque se queria saber como eram realizadas as práticas envolvendo mapas conceituais no AEE. A Seção 6.1 apresenta os aspectos éticos da pesquisa, a Seção 6.2 os participantes, a Seção 6.3 a pesquisa-ação, sua definição, a forma como foi realizada e os métodos de avaliação utilizados; por fim, a Seção 6.4 apresenta as considerações do capítulo.

6.1 ASPECTOS ÉTICOS

O desenvolvimento da pesquisa foi apoiado pela participação de professores e estudantes com cegueira. Os procedimentos realizados na pesquisa-ação apresentados nesta tese foram submetidos e aprovados no Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos (CEP/SD) da Universidade Federal do Paraná, em parecer CEP/SD-PB nº 3430244, CAAE 13364419.9.0000.0102.

Os professores assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os estudantes com cegueira assinaram um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Por se tratar de participantes menores de idade, os pais assinaram também um TCLE.

6.2 OS PARTICIPANTES

As instituições participantes foram o Centro Estadual de Apoio Pedagógico às Pessoas com Deficiência Visual (CAP) da cidade de Francisco Beltrão-PR e duas escolas: a Escola Municipal Professora Verônica da Silva Pietta, da cidade de Nova Prata do Iguçu-PR e a Escola Estadual Alto da Glória, da cidade de Palmas-PR. As duas escolas possuem Sala de Recursos Multifuncionais (SRM) e prestam o AEE para estudantes com cegueira.

O CAP fornece o material adaptado às escolas dentro da sua região de atuação e ministra formação para professores do AEE. O Centro foi a primeira instituição visitada por esta pesquisadora. O projeto foi apresentado à instituição que sugeriu à pesquisadora fazer uma formação sobre mapas conceituais com professores do AEE em suas instalações. Com a formação, a pesquisadora poderia apresentar o projeto e encontrar participantes para a pesquisa. Chegou-se a elaborar uma proposta de formação que foi enviada ao CAP, porém, após um tempo sem resposta do Centro, a pesquisadora decidiu ir até as escolas buscar os participantes. Para isso, fez contato com o CAP para levantar as escolas que forneciam o AEE para estudantes com cegueira matriculados nos anos finais do ensino fundamental e fluentes em braille. O CAP então indicou as duas escolas apresentadas no primeiro parágrafo desta seção.

Da escola municipal participaram uma professora do AEE e dois estudantes cegos matriculados no 8º ano do ensino fundamental; da estadual participaram a professora do AEE e duas estudantes cegas também matriculadas no 8º ano do ensino fundamental. Todos fluentes em braille.

Participaram também 2 professoras especializadas da rede estadual que fazem atendimento em SRM na cidade de Pato Branco-PR. Essas professoras participaram da pesquisa de forma remota. Uma delas, com 54 anos de idade, tem 29 anos de experiência na educação

especial e atende em SRM tipo II (cegueira e baixa visão). A outra, com 58 anos, tem um padrão de 20 horas na educação especial, com 15 anos de experiência, atualmente atende em SRM tipo I (qualquer deficiência) mas já prestou atendimento em SRM tipo II; além disso, possui um padrão de 20 horas no ensino regular, com 27 anos de experiência, no qual já atendeu e atende em sala de aula regular estudantes com deficiência, incluindo pessoas com cegueira. As professoras foram indicadas por uma colega de trabalho da autora desta tese. Essa colega possui um parente com deficiência visual que já foi atendido pelas duas professoras.

Nesta tese, seguindo recomendações éticas, os nomes dos estudantes e professoras foram omitidos. Os estudantes foram identificados com os códigos AL1, AL2, AL3 e AL4, as professoras especializadas dos estudantes por P1 e P2, e as professoras que participaram de forma remota por P3 e P4.

6.3 O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA-AÇÃO

Para validar o Braille-CM-TUI foi necessário verificar a sua utilidade em um contexto real e prático. Foi necessário verificar junto à comunidade escolar se a ferramenta era útil e suficiente para apoiar atividades envolvendo a construção de mapas conceituais por estudantes com cegueira. Defendemos que pesquisas como esta, descrita nesta tese, com benefícios sociais, apresentam mais corretas e melhores contribuições quando conduzidas de forma democrática e colaborativa com a comunidade envolvida por meio de Pesquisa-Ação (PA).

Thiollent (2011, p. 20) define PA como um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida ou realizada em estreita relação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação, ou do problema, estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. A Tabela 6.1 apresenta as principais características e aspectos da PA descritas pelos autores Sandín Esteban (2010, p. 170 e 171) e Thiollent (2011, p. 22 e 23).

Tabela 6.1: Características e Aspectos Gerais de PA (Fonte: Adaptado de Sandín Esteban (2010) e Thiollent (2011))

Sandín Esteban (2010, p. 170 e 171)	Thiollent (2011, p. 22 e 23)
<p>Envolve a transformação e a melhoria de uma realidade educacional e/ou social;</p> <p>Parte da prática, de problemas práticos;</p> <p>É uma pesquisa que envolve a colaboração das pessoas;</p> <p>Envolve uma reflexão sistemática na ação;</p> <p>É realizada pelas pessoas envolvidas na prática que se pesquisa;</p> <p>O processo de pesquisa-ação se define ou se caracteriza como uma espiral de mudança.</p>	<p>Existe uma ampla e explícita interação entre os pesquisadores e as pessoas implicadas na situação investigada;</p> <p>Desta interação resulta a ordem de prioridade dos problemas a serem pesquisados e das soluções a serem encaminhadas sob forma de ação concreta;</p> <p>O objeto de investigação não é constituído pelas pessoas e sim pela situação social e pelos problemas de diferentes naturezas encontrados nessa situação;</p> <p>O objetivo da PA consiste em resolver, ou, pelo menos, em esclarecer os problemas da situação observada;</p> <p>Há, durante o processo, um acompanhamento das decisões, das ações e de toda a atividade intencional pelos atores da situação;</p> <p>A pesquisa não se limita a uma forma de ação (risco de ativismo): pretende-se aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o conhecimento ou "nível de consciência" das pessoas e grupos considerados.</p>

As descrições apresentadas na Tabela 6.1 se complementam entre si, dando uma caracterização geral do conceito de PA. Ainda sobre as características da PA, para o autor Tripp (2005, p. 447) a PA é caracterizada como uma forma de investigação-ação (termo genérico para qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela) que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática. As técnicas de pesquisa utilizadas devem atender aos critérios comuns a outros tipos de pesquisa acadêmica, tais como revisões pelos pares, significância, originalidade, validade, entre outros (Tripp, 2005).

Uma das principais características da PA é o seu processo cíclico, flexível e interativo em todas as etapas (Sandín Esteban, 2010, p. 133). A versão do "Ciclo de Pesquisa- Ação" de Gerald Susman e Roger Evered (1978, p. 588) é uma versão bem aceita pela comunidade científica. Ela compreende cinco (5) etapas descritas a seguir:

1. **Diagnóstico:** Início do ciclo e envolve a identificação de um problema, ou uma oportunidade de melhoria, a serem resolvidos com as pessoas implicadas.
2. **Planejamento da Ação:** trata-se da elaboração de um plano de ação para resolver o problema identificado ou para atingir a melhoria desejada.

3. **Tomada da Ação:** colocar o plano da etapa anterior em prática e coletar dados para a avaliação dos resultados.
4. **Avaliação:** compreende o estudo dos resultados obtidos na etapa anterior.
5. **Especificação do resultado:** compreende a revisão dos resultados da fase anterior e a construção do conhecimento obtido na forma de um modelo (artigo científico, por exemplo).

A Figura 6.1 apresenta a representação das 5 etapas do ciclo da pesquisa-ação.

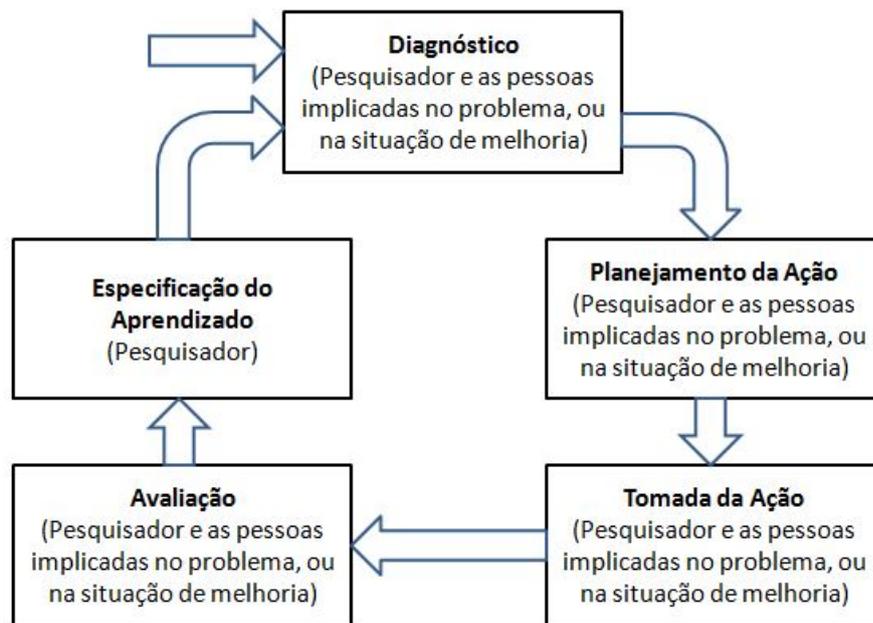


Figura 6.1: Ciclo da Pesquisa-Ação (Fonte: Adaptado de Gerald Susman e Roger Evered (1978, p. 588))

Em cada uma das etapas representadas na Figura 6.1 são relacionadas as pessoas envolvidas. É possível perceber o envolvimento e a colaboração de todas as pessoas que fazem parte do processo, característica marcante da pesquisa-ação.

Devido à sua orientação prática, a PA pode ser utilizada em diversas áreas. Ela é mais popular nas áreas de educação, comunicação social, serviço social, organização, tecnologia, práticas políticas e sindicais (Thiollent, 2011, p. 83), psicologia clínica e sociologia (Kock, 2013). Em especial na área de IHC, o interesse por pesquisas com benefícios sociais cresceu anos nas últimas décadas e isso pode ter contribuído para o aumento de interesse pela aplicação da PA na área (Hayes, 2011).

A pesquisa-ação desta tese iniciou-se nas escolas no segundo semestre de 2019. Antes disso, a pesquisadora fez créditos de disciplinas, revisão de literatura, criou o jogo de peças de encaixar para construir mapas conceituais e desenvolveu um protótipo funcional que seria levado às escolas para a realização da pesquisa-ação.

Ao iniciar a pesquisa-ação, durante visitas às escolas (etapa de diagnóstico), foi realizado um levantamento com as professoras do AEE (P1 e P2) sobre o uso dos mapas conceituais com os estudantes com cegueira. Foi constatado que em nenhuma das duas escolas os mapas conceituais eram utilizados, seguindo o que a literatura apontou no Capítulo 3. As professoras conhecem a técnica mas não a utilizam. Diante da situação, percebeu-se a necessidade de introduzir os conceitos sobre mapas conceituais aos estudantes antes de iniciar qualquer atividade usando o

protótipo do Braille-CM-TUI. Desta forma, foi planejada uma sequência didática para ensinar mapas conceituais usando apenas o jogo de peças de encaixar desplugado (etapa planejamento da ação). Essa prática serviria também para preparar os estudantes para os experimentos no protótipo do Braille-CM-TUI.

A sequência didática para ensinar mapas conceituais de Beal e García (2020) tinha 4 atividades e o conteúdo foi baseado no Banco Nacional Comum Curricular (BNCC) sobre Ciências, do 7º Ano do Ensino Fundamental, unidade temática Terra e Universo, objeto de conhecimento Fenômenos Naturais (vulcões, terremotos e tsunamis) e Efeito Estufa. Isto porque tanto a autora como as professoras consideraram necessário que os estudantes tivessem conhecimento prévio do tema com o qual eles trabalhariam nas atividades, para que eles pudessem focar exclusivamente o ensino e a aprendizagem de mapa conceitual (Beal e García, 2020).

Sobre as atividades da sequência didática apresentada em Beal e García (2020), a primeira delas teve como objetivo verificar se os estudantes conheciam o conceito de mapa conceitual. A segunda atividade teve por objetivo ensinar os conceitos de "conceito", "relacionamentos", "palavras de ligação" e "proposições". A terceira teve como objetivo construir um mapa conceitual a partir da leitura de um texto sobre o tema "Tsunami" e entender a questão focal. Para esta atividade os estudantes leram um texto em braille sobre o tema que tinha sido retirado pela autora da Internet do site TodaMatéria¹ e que foi transcrito para o braille pela professora especializada P1. A leitura foi realizada pelos estudantes no início da atividade. Já a quarta atividade teve como objetivo praticar a leitura do mapa conceitual. Para isso, foi apresentado um mapa pronto, construído pela autora, sobre o aquecimento global como resultado da intensificação do efeito estufa. Após a leitura, os estudantes construíram textos com as proposições do mapa conceitual usando a reglete, o punção e a máquina Perkins. Conforme Beal e García (2020), foram 3 encontros para cada estudante, dois deles fizeram o primeiro encontro juntos e os outros encontros de forma individual. Já os outros dois realizaram todos os encontros individualmente. As atividades foram acompanhadas pela autora e pelas professoras P1 e P2; uma das professoras (P1) acompanhou de forma integral e a outra acompanhou de forma parcial (P2), pois havia outros estudantes do AEE para ela atender simultaneamente. Foram realizadas gravações de vídeo, fotos das atividades e anotações durante a execução da sequência didática para ensinar mapa conceitual (Beal e García, 2020).

Durante a execução da sequência didática de Beal e García (2020) (etapa tomada da ação) para ensinar mapa conceitual, a autora observou dificuldades de alguns estudantes com a escrita das palavras na Língua Portuguesa e no braille. Segundo P1 e P2, os estudantes não costumam praticar a leitura como deveriam, e alguns deles apresentam dificuldades com o braille em função da pouca leitura. A partir dessa observação (etapa de avaliação), a autora sugeriu às professoras trabalhar uma sequência didática no Braille-CM-TUI para praticar a leitura e a escrita braille com mapas conceituais. Elas concordaram e a professora da escola municipal (P1) verificou com o professor de Português, da sala de aula regular, qual era o conteúdo que estava sendo estudado pelos seus alunos e que poderia ser praticado na sequência didática. O conteúdo na época era o gênero "conto". Como os outros dois estudantes da professora da escola estadual (P2) relataram já ter estudado o gênero em série anterior demonstrando ter conhecimento prévio sobre o gênero, o tema "conto" foi escolhido para a sequência didática.

Para a elaboração da sequência didática do conto (Apêndice C), a autora contou com a colaboração da professora da escola municipal (P1), que tem formação em Língua Portuguesa. Essa sequência didática compreende atividades de leitura, escrita e interpretação de texto em braille com o conto "Negócio de menino com menina" de Ivan Ângelo, usando mapas conceituais.

¹TodaMatéria - é um site com conteúdos escolares destinados ao apoio à educação no Brasil com acesso livre para alunos e professores - <https://www.todamateria.com.br/>.

A sugestão desse conto foi de uma professora de Língua Portuguesa já aposentada próxima da autora, que relatou em conversas informais já ter usado esse conto com estudantes do 8º ano. Segundo essa professora, esse conto aguça a curiosidade dos leitores, o que faz com que eles se interessem pela leitura do mesmo. Ela também sugeriu iniciar a atividade apresentando o título do conto aos estudantes e perguntar o que eles imaginam do que se trata, só depois dar a eles o conto para fazer a leitura na íntegra e confirmar as previsões. Essa mesma abordagem com esse conto foi identificada na literatura no trabalho de (Pessoa Sampaio, 2009).

O relato da experiência da introdução de mapas conceituais com os estudantes cegos foi apresentado em Beal e García (2020) (especificação do aprendizado) e é apresentado como Apêndice E.

Em março de 2020, a pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19²) fez com que as aulas no estado do Paraná fossem suspensas por tempo indeterminado, afetando diretamente a pesquisa-ação que vinha sendo desenvolvida e mudanças foram necessárias para a conclusão desta tese. As atividades de experimentação do protótipo funcional do Braille-CM-TUI com a sequência didática do conto, que seriam realizadas pelos estudantes com cegueira nas SRM, foram canceladas.

Diante da situação, optou-se por desenvolver um outro protótipo que permitisse uma experimentação remota sem a necessidade da instalação e configuração de equipamentos como computador, câmera e microfone. Foi então desenvolvido o protótipo do Mágico de OZ que foi apresentado no Capítulo 5. O jogo de peças de encaixar, as telas em papel da ferramenta de autoria e o protótipo do teclado foram enviados para outras 2 professoras de SRM (P3 e P4) que ainda não haviam participado da pesquisa, para avaliar a viabilidade e utilidade do Braille-CM-TUI para o ensino de mapa conceitual para estudantes com cegueira. Nesta nova abordagem de experimentação, a autora (o "mago") remotamente simulou o comportamento do Braille-CM-TUI e gerou as respostas às professoras P3 e P4 de acordo com os diferentes tipos de interação que podem acontecer com a Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface* - TUI).

Foi realizado um treinamento sobre mapas conceituais baseado na sequência didática de Beal e García (2020) que foi usada para introduzir mapa conceitual para os estudantes com cada uma das professoras P3 e P4. Na sequência, foi realizada a experimentação remota do Braille-CM-TUI. Foram 3 encontros via Google Meet com cada uma delas. Com a P4 também foi realizada uma chamada de voz via Whatsapp para conversar sobre uma atividade do treinamento em mapa conceitual. Os encontros foram realizados nos horários disponíveis das professoras, sendo quase todos eles no período da noite, visto que durante o dia as professoras tinham aula e atendimento online aos seus alunos. Durante os encontros foram realizadas gravações de vídeo das seções remotas e realizadas anotações pela autora. Para a coleta de dados qualitativos, as opiniões das professoras P3 e P4 sobre a ferramenta de autoria e o Braille-CM-TUI foram coletadas por meio de questionários baseados em Brooke (1996), Petri et al. (2016), Petri et al. (2017) e que são apresentados nos Apêndices **A - Questionário para coleta de opinião sobre a ferramenta de autoria para Professores** e **B - Questionário para coleta de opinião sobre o CM-Braille-TUI para Professores**.

As Figuras 6.2 e 6.3 apresentam as dimensões e as afirmações que foram avaliadas nos questionários de coleta de opiniões. As dimensões avaliadas foram: Satisfação do Usuário, Usabilidade (Estética, Aprendizabilidade, Operabilidade, Acessibilidade, Proteção de erro do usuário) e Percepção da utilidade. Para cada afirmação do questionário foi utilizada a escala *Likert*, onde cada questão tem uma escala de avaliação entre Discordo totalmente, Discordo, Nem discordo nem concordo, Concordo e Concordo totalmente.

²COVID-19 - <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>

Dimensões		Afirmações	
Satisfação do Usuário		Minha experiência com o jogo foi positiva.	
		Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.	
		Eu usaria o jogo em minhas aulas.	
		Os estudantes vão gostar de usar o jogo.	
Usabilidade		Eu recomendaria esse jogo para os meus colegas.	
		Estética	O design do jogo é adequado.
			A voz utilizada pelo jogo é adequada.
			O relevo do braille das peças é perceptível para o cego.
			A textura das peças do jogo é adequada.
		Aprendizabilidade	O tamanho, a forma e as cores das peças são adequadas.
			Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar o jogo.
			Aprender a usar o jogo foi fácil para mim.
			A maioria dos estudantes cegos aprenderiam a usar rapidamente este jogo.
		Operabilidade	Ler um mapa conceitual no jogo é fácil.
			Montar um mapa conceitual no jogo é fácil.
			As orientações fornecidas pelo jogo são claras e compreensíveis.
			O jogo orienta a montagem de mapa conceitual.
		Acessibilidade	É fácil encaixar as peças na base.
			O tom e o volume da voz utilizada pelo jogo são adequados.
			É possível diferenciar as peças de encaixar umas das outras com facilidade.
A caixa organizadora facilita a localização das peças.			
Proteção de erro do usuário	O teclado para interagir com o jogo é acessível para o cego.		
	O jogo protege o estudante cego de cometer erros.		
	O jogo fornece mensagens sobre os erros.		
	As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.		
Percepção a respeito da utilidade		Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.	
		O jogo é útil para ensinar mapas conceituais para estudantes cegos.	
		O jogo pode melhorar o ensino de conceitos em sala de aula.	
		O jogo pode facilitar a aprendizagem de conceitos dos estudantes cegos.	
		Com o jogo pode-se verificar o nível de aprendizagem do estudante cego.	
		O jogo é útil para a aquisição de conhecimento pelos estudantes cegos.	

Figura 6.2: Dimensões e afirmações avaliadas no questionário para coleta de opinião sobre o Braille-CM-TUI para o Professor (Fonte: Adaptado de Brooke (1996), Petri et al. (2016) e Petri et al. (2017))

Dimensões		Afirmações	
Satisfação do Usuário		Minha experiência com o programa foi positiva.	
		Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.	
		Eu usaria o programa em minhas aulas.	
		Os professores vão gostar de usar o programa.	
Usabilidade		Eu recomendaria esse programa para os meus colegas.	
		Aprendizabilidade	Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a usar o programa.
			Aprender a usar o jogo foi fácil para mim.
			A maioria dos professores aprenderiam a usar rapidamente este programa.
			Cadastrar atividades de mapas conceituais é fácil.
		Operabilidade	Cadastrar sequências didáticas no programa é fácil.
			Executar uma sequência didática no programa é fácil.
			Visualizar e imprimir os resultados das execuções é fácil.
			As palavras e os termos usados no programa são adequados.
		Acessibilidade	Eu consigo reconhecer com facilidade as informações textuais e botões nas telas pois eles tem o mesmo formato e localização em todas elas.
			Eu consigo navegar por todas as telas da mesma forma.
			Os botões nas telas possuem explicações de como usá-los.
			O tamanho das informações textuais e dos botões das telas são adequados.
		Proteção de erro do usuário	O programa me protege de cometer erros.
			O programa fornece mensagens sobre os erros.
			As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.
Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.			
Percepção da utilidade		O programa é útil para planejar sequências didáticas envolvendo mapas conceituais para estudantes cegos.	
		O programa facilitar o planejamento de sequências didáticas de mapas conceituais.	
		O programa facilita a execução de sequências didáticas por estudantes cegos.	
		O programa é útil pois fornece opção para imprimir as sequências didáticas e os resultados das execuções em braille.	
		O programa auxilia o professor na tomada de decisão por meio dos registros das execuções das sequências didáticas realizadas por seus alunos.	

Figura 6.3: Dimensões e afirmações avaliadas no questionário para coleta de opinião sobre a ferramenta de autoria para o Professor (Fonte: Adaptado de Brooke (1996), Petri et al. (2016) e Petri et al. (2017))

6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a metodologia utilizada na pesquisa relatada nesta tese. Os procedimentos realizados neste trabalho foram submetidos e aprovados em Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal do Paraná. Participaram 3 instituições, um CAP e duas Escolas com SRM situadas no Sudoeste do Paraná. O CAP foi quem indicou as escolas e também disponibilizou suas instalações para a realização de uma formação sobre mapa conceitual com professores especializados, o que infelizmente não pode ser realizado por motivo de tempo. Das escolas participaram duas professoras especializadas e 4 estudantes com cegueira matriculados no 8º ano do ensino fundamental, dois em cada escola. Além deles, 2 professoras especializadas em educação especial.

Uma PA foi desenvolvida para verificar a utilidade do Braille-CM-TUI junto a comunidade escolar. As atividades realizadas durante a PA seguiram o fluxo do modelo de Susman e Evered (1978). As etapas realizadas foram: diagnóstico, planejamento da ação, tomada da ação, avaliação e especificação do aprendizado.

Ao chegar nas escolas (etapa de diagnóstico), foi identificado que os estudantes não conheciam os mapas conceituais. Então, foi desenvolvida uma sequência didática para lhes ensinar o conceito de mapa conceitual e prepará-los para a sua participação nos experimentos com o Braille-CM-TUI (etapa de planejamento da ação). No desenvolvimento dessa sequência didática foi usado o jogo de peças de encaixar desplugado e foram realizadas 4 atividades de mapas conceituais. Durante a realização da sequência didática foram realizadas gravações de vídeo, fotos e anotações. As professoras acompanharam o desenvolvimento das atividades.

Durante a execução da sequência didática para ensinar mapas conceituais (etapa tomada da ação), foram observadas dificuldades de alguns estudantes com a Língua Portuguesa e com o braille. A partir dessa observação (etapa avaliação) foi proposta e desenvolvida uma sequência didática sobre um conto literário para explorar a leitura, a escrita em braille e os mapas conceituais. O desenvolvimento dessa sequência didática contou com o apoio de uma das professoras (P1). O relato da experiência da introdução de mapas conceituais com os estudantes cegos foi apresentado em Beal e García (2020) (especificação do aprendizado).

Um protótipo funcional foi contruído para possibilitar a avaliação do Braille-CM-TUI junto aos estudantes com cegueira e seus professores especializados. Porém, a condição de pandemia fechou as escolas e inviabilizou a instalação e o uso desse protótipo em SRM. Um segundo protótipo foi elaborado para possibilitar uma experimentação remota pelas professoras P3 e P4. O protótipo tinha protótipos em papel para a ferramenta de autoria e o protótipo do Mágico de OZ para a TUI, onde a autora atuou como um "mago" fornecendo os feedbacks remotos conforme uso da TUI.

O protótipo para experimentação remota foi enviado para 2 professoras de SRM que ainda não haviam participado da pesquisa para ser avaliado. Durante os encontros as professoras receberam um treinamento sobre mapa conceitual, em seguida, fizeram a avaliação do Braille-CM-TUI e preencheram questionários.

7 RESULTADOS DIVERSOS

Este capítulo apresenta os resultados da execução da sequência didática para ensinar mapas conceituais para os estudantes com cegueira (seção 7.1), os resultados dos experimentos remotos com as professoras (seção 7.2), a análise dos dados coletados por meio de questionários (7.3) e as considerações sobre o capítulo (seção 7.4).

7.1 RESULTADOS DA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINAR MAPAS CONCEITUAIS

Conforme Beal e García (2020), a execução da sequência didática aconteceu em momentos diferentes em cada Sala de Recursos Multifuncionais (SRM), de acordo com os horários e a disponibilidade dos estudantes. Sobre a Atividade 1 que introduzia o tema mapa conceitual, todos os estudantes disseram desconhecer o conceito de mapa conceitual. Para mostrar um mapa conceitual a eles, a autora solicitou aos participantes até 5 palavras que eles recordavam sobre o tema Vulcões. As palavras levantadas pelos estudantes foram montadas na base do jogo por eles mesmos, uma abaixo da outra. Depois a autora utilizou essas palavras para montar um mapa conceitual. Para todos os estudantes este foi o primeiro contato com um mapa conceitual (Beal e García, 2020).

Para a execução da Atividade 2, aprendendo sobre conceitos, relações e proposições, foi solicitado aos estudantes que escrevessem uma lista com até 5 conceitos sobre o tema Terremoto que eles recordavam. De acordo com os registros de Beal e García (2020), um dos estudantes (AL2) teve dificuldades com o tema Terremoto e, para mantê-lo motivado na atividade, o tema foi mudado. Em conversas anteriores com a professora do Atendimento Educacional Especializado (AEE), ela tinha dito à autora que esse estudante gostava muito de assuntos relacionados aos países de fala Hispana. Então a autora mudou o tema para Argentina. Com o novo tema, ele conseguiu criar uma lista com 4 conceitos relacionados a esse país (Beal e García, 2020). A Figura 7.1 apresenta os conceitos levantados sobre o tema Terremoto pelo AL3 (7.1(A)) e Argentina no caso do estudantes AL2 (7.1(B)).



Figura 7.1: Levantamento de conceitos-chave sobre o tema Terremoto pelo AL3 e Argentina pelo AL2 (Fonte: a autora).

Como registrado por Beal e García (2020), após escrever a lista de conceitos-chave, cada estudante foi encorajado a pensar qual a relação que cada um dos conceitos (representados por palavras) tinha com o tema Terremoto e quais palavras poderiam ser usadas para explicar a relação entre eles. Ao AL2 solicitou-se que ele pensasse nas relações dentro do tema Argentina.

Com ajuda da autora, os mapas foram elaborados com base nos conceitos e nas palavras de ligação levantadas por eles. Durante a elaboração do mapa conceitual falou-se sobre o que são os conceitos e os rótulos (palavras de ligação) e sobre a sua importância para a construção de proposições. Além disso, a autora mostrou como as proposições são construídas e a função da seta (que é em alto relevo) na extremidade do conector que indica o sentido da leitura da proposição. Para a colocação das peças e para a leitura das proposições a autora estabeleceu as seguintes regras que foram informadas aos estudantes durante a elaboração dos mapas:

- Conceitos ou rótulos compostos deveriam ser escritos em linha única usando a peça do espaço em branco para separar as palavras;
- Usar substantivos ou formas nominais nos conceitos;
- Usar verbos ou frases verbais nos rótulos;
- Para construir uma proposição as extremidades dos conectores deveriam encostar nos conceitos inicial e final;
- A extremidade lisa do conector deveria encostar no conceito inicial e a extremidade com a seta (em alto relevo) encostar no conceito final;
- A posição para encostar as extremidades do conector nos conceitos inicial e final, poderia ser no início, no final, em cima ou embaixo do conceito, desde que a extremidade estivesse encostada;
- O rótulo deveria ser escrito encostado na peça central do conector, podendo ser à direita ou à esquerda;
- Não foi permitido cruzar conectores durante a construção do mapa para não dificultar a leitura;
- Para fazer a leitura de uma proposição localizar a extremidade lisa do conector, ler o conceito encostado nela, guiar-se pelo elástico, passando pela peça do meio onde tem o rótulo, ler o rótulo, seguir o elástico até encontrar a extremidade com a seta que está encostada no conceito final, ler o conceito final;
- Um conceito poderia ter mais de um conector encostado nele;
- Os conceitos não podiam encostar uns nos outros, da mesma forma, os conectores também não podiam encostar uns nos outros.

Para a atividade 2, de acordo com os registros de Beal e García (2020), todos os estudantes precisaram de ajuda da autora para construir os mapas (Beal e García, 2020). A Figura 7.2 mostra os mapas conceituais do AL3 sobre Terremoto (Figura 7.2(A)) e do AL2 sobre Argentina (Figura 7.2(B)).

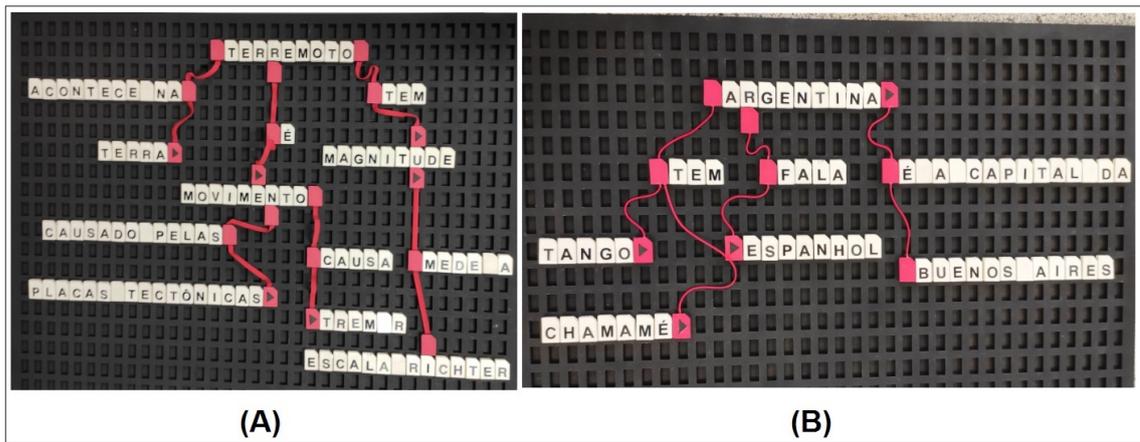


Figura 7.2: Mapas conceituais sobre o tema Terremoto pelo AL3 e Argentina pelo AL2 (Fonte: a autora).

Os mapas da Figura 7.2 foram construídos seguindo as regras que foram apresentadas pela autora aos estudantes durante a realização da atividade. Entretanto, foi observado a partir dos mapas construídos que é possível estabelecer uma outra forma de posicionar os conectores que pode facilitar a leitura do mapa e criar uma nova regra para colocação das peças. Nesta nova regra poderia ser estabelecido que a extremidade lisa do conectetor deve encostar no final do 1º conceito (início da proposição) e a extremidade com a seta encostar no início do conceito final. A aplicação da nova regra pode alterar a estrutura do mapa, o conceito principal não ficaria mais no centro e no topo, ele ficaria no topo bem à esquerda e as proposições seriam distribuídas à direita, o mapa iria crescer mais à direita podendo ficar um espaço vazio à esquerda abaixo do conceito principal, podendo também limitar o tamanho do mapa. A Figura 7.3 é um esboço de mapa simulando o uso da nova regra de posicionamento dos conectores. De qualquer forma, considerando que os experimentos foram feitos com as regras anteriores, os relatos resgatam os resultados com essa versão corrente e não com a que sugerimos como melhoria futura na Figura 7.3.

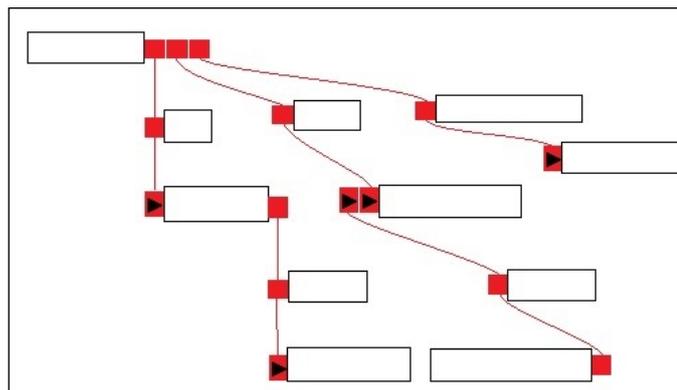


Figura 7.3: Simulação do uso da nova regra de posicionamento dos conectores (Fonte: a autora).

Como informado por Beal e García (2020), a Atividade 3 foi a mais desafiadora para os estudantes, pois tratou da construção de um mapa conceitual. Para essa atividade foi utilizado o texto em braille sobre o tema Tsunami. Inicialmente os estudantes fizeram a leitura. Na sequência, listaram os conceitos para responder à pergunta focal "O que você endendeu ou lhe chamou mais à atenção sobre Tsunami?". Finalmente, os estudantes construíram o mapa. Não foi estabelecido um número limite de conceitos. O AL1 partiu diretamente para a construção do mapa conceitual. Ele construiu sozinho o mapa, sem ajuda da autora ou da professora do AEE (Figura 7.4 (A)).

Apesar de o mapa ser pequeno (Figura 7.4 (A)), ele demonstrou que o estudante tinha concepção do espaço, da organização dos conceitos e dos rótulos na base. Os mapas produzidos pelos demais alunos tiveram o auxílio da autora e da professora para a montagem, sendo um deles o mapa conceitual do AL3 apresentado na Figura 7.4(B) (Beal e García, 2020).

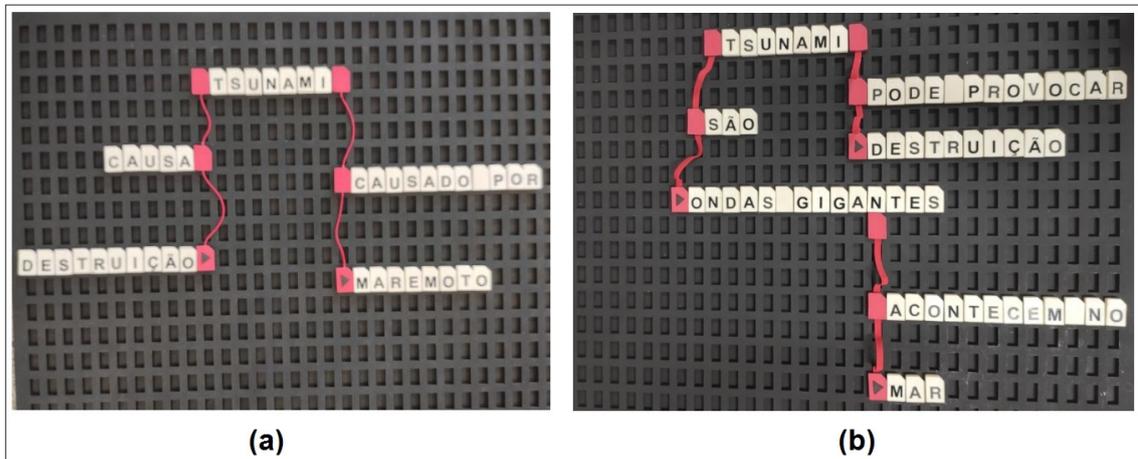


Figura 7.4: Mapas conceituais construídos por AL1 e AL3 para a atividade 3 (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 5)).

Em relação à execução da Atividade 4, construindo um texto a partir de um mapa conceitual conforme descrito por Beal e García (2020), foi solicitado que cada estudante construísse um texto usando a máquina braille ou a reglete e o punção sobre o mapa conceitual da Figura 7.5(a) montado na base do jogo pela autora. Para essa atividade, os estudantes tinham que fazer a leitura do mapa e usar somente as proposições do mapa para construir um texto. Apenas o estudante AL4 não conseguiu concluir essa atividade pois o encontro foi cancelado devido à pandemia mundial do Novo coronavírus (COVID-19). Os demais estudantes utilizaram as proposições do mapa conceitual conforme solicitado na atividade, o que demonstrou que eles conseguiram fazer a leitura correta do mapa e entenderam a estrutura do mapa e o significado das proposições. Os textos produzidos pelos estudantes foram transcritos por suas professoras da SRM (Beal e García, 2020). A Figura 7.5(b) apresenta o texto produzido pelo AL2.

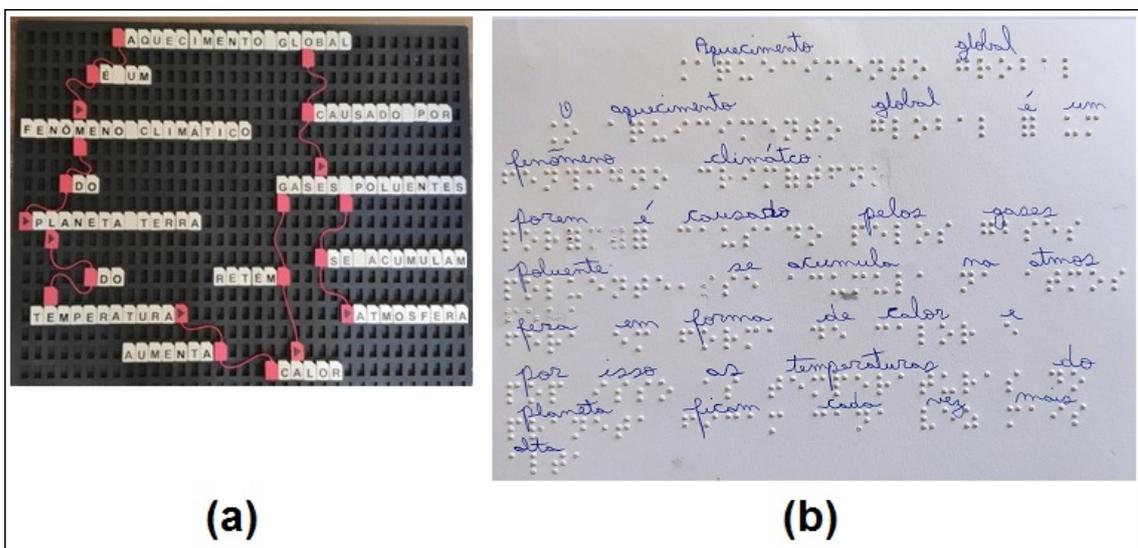


Figura 7.5: Mapa da atividade 4 e o texto produzido pelo AL2 (Fonte: Beal e García (2020, Fig. 6)).

Durante a realização das atividades, segundo Beal e García (2020), alguns dos estudantes trocaram caracteres braille por outros na hora de escrever (montar) algumas palavras. Alguns deles também cometeram erros de Português. De acordo com as professoras, isso acontece e pode ser resolvido com a leitura, o treino e o uso do braille, afirmação que reforça as justificativas para a solução apresentada nesta tese. Sobre o recurso tangível, o reconhecimento das peças, os encaixes e desencaixes foram realizados por todos sem dificuldades. O relevo do braille mostrou-se perceptível e adequado. Alguns sentimentos percebidos nos participantes durante a realização das atividades foram entusiasmo e confiança. O jogo de encaixar foi acolhido por todos os participantes, o que pode ser considerado êxito do projeto. Algo interessante relatado por um dos estudantes foi "Eu achava que o braille era só como é na reglete.", e completou dizendo que tinha percebido que existem outras formas de usar o braille. Em relação às professoras, umas delas fez o seguinte comentário: "Eu até agora nunca tinha visto esse mapa adaptado, tão legal e tão bem pensado para os alunos" (Beal e García, 2020). O retorno das professoras e dos estudantes motivou autora a continuar no desenvolvimento do projeto e desta tese onde ele está inserido.

Conforme descrito em Beal e García (2020), as professoras solicitaram que, após os experimentos, a autora deixasse um kit para a escola, solicitação que foi recebida com satisfação pela autora, pela oportunidade, construída em conjunto, de apoiar a educação pública com material didático comprovadamente útil (Beal e García, 2020).

Durante a utilização do jogo, Beal e García (2020) perceberam diferentes formas de manipulá-lo pelos usuários. Em relação à busca pelas peças na caixa foram observadas duas formas: 1) Iniciavam a busca pelo canto superior esquerdo, passando pelas divisórias das peças da esquerda para a direita até encontrar a divisória da peça desejada; 2) Busca aleatória: dependendo da letra, o usuário calculava mentalmente a posição da divisória da peça na caixa (mais no início, meio ou final da caixa) para iniciar a busca a partir daquela posição. Com base nestas observações, percebeu-se que podem ser feitas mudanças na caixa para facilitar o processo de busca, à semelhança de algoritmo de busca conhecido. A caixa pode ser dividida em 4 caixas menores para reduzir o espaço de busca. A primeira caixa poderia agrupar as letras de A a M, a segunda de N a Z, a terceira as letras acentuadas e o Ç e a quarta com os conectores e as peças de espaço em branco. Desta forma, se o usuário buscar pela letra P, por exemplo, ele iria buscar na segunda caixa onde a letra P estaria na terceira divisória, agilizando a busca (Beal e García, 2020).

Sobre como os usuários encontravam as peças na caixa e transferiam para a base para escrever as palavras, Beal e García (2020) observaram duas formas de uso: 1) Os usuários buscavam as peças na caixa na ordem em que elas apareciam na palavra e iam transferindo para a base peça por peça; 2) Os usuários encontravam as peças na caixa e colocavam elas soltas ao lado da caixa em um monte até encontrar todas as peças necessárias para, só depois, ler peça por peça daquele amontoado, encaixar na base e formar a palavra desejada. Para facilitar estas duas formas de uso, pode ser construída uma mini base intermediária de montagem para apenas uma palavra ou frase de ligação para deixar ao lado da caixa, onde o usuário vai organizando e encaixando as peças, (evitando a necessidade de retrabalho na percepção, na compreensão e na ordenação) para depois transferi-las na ordem certa para a base. Essa mini base funcionaria como uma área de transferência e poderia também ser utilizada para mudar um conceito ou rótulo de lugar para o outro para reorganizar o mapa (Beal e García, 2020).

7.2 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REMOTOS

A primeira professora especializada a realizar a experiência remota com o Braille-CM-TUI (do Inglês, *Braille-Concept Maps - Tangible User Interface*) foi a P3. No primeiro encontro conversou-se sobre o AEE, sobre a falta de recursos adaptados para estudantes com cegueira e sobre os materiais físicos usados pela professora na adaptação de materiais pedagógicos. Também conversou-se sobre a "desbrailização" e a importância do braille. Ainda no primeiro encontro foi iniciado o treinamento em mapa conceitual baseado na sequência didática usada em Beal e García (2020). Logo no início do treinamento, a autora perguntou a P3 se ela conhecia o conceito de mapa conceitual e, em caso afirmativo, caso conhecesse se já tinha trabalhado esse conceito com os estudantes com cegueira. A professora disse já ter usado com seus alunos de forma adaptada com barbantes e outros materiais táteis para fazer sínteses de conteúdos e facilitar o entendimento deles. Diante da afirmação, a autora solicitou a P3 que elaborasse um mapa conceitual sobre o tema Tsunami usando a Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface - TUI*). Até esse momento, a professora não tinha recebido instruções de como usar o jogo de peças de encaixar. Quando o tempo da professora disponível para o encontro estava esgotado, ficou como tarefa de casa para P3 elaborar o mapa conceitual para apresentar no encontro seguinte. A Figura 7.6 mostra o mapa conceitual sobre Tsunami feito por P3 usando a TUI.

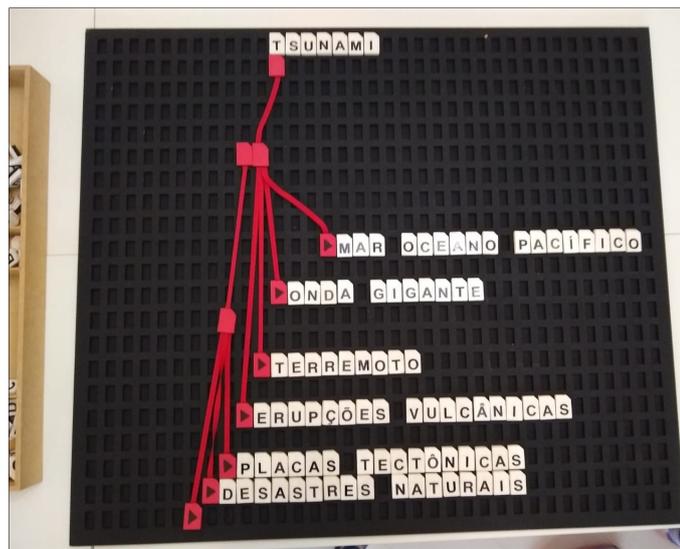


Figura 7.6: Mapa sobre Tsunami produzido pela P3 (Fonte: a autora).

Conforme pôde ser visto na Figura 7.6, P3 construiu um esquema parecido com um mapa conceitual. No segundo encontro, a autora falou sobre a diferença do mapa conceitual para o esquema usado por P3 visto na Figura 7.6, falou sobre os conceitos de "conceito", "rótulo" e "proposições". Falou também da questão focal e explicou como usar as peças do jogo para montar um mapa conceitual. A P3, ao perceber a diferença entre o seu esquema e o mapa conceitual, relatou que trabalha com mapas textuais e não mapa conceitual. Ela esboçou num papel o tipo de mapa textual usado por ela, sendo esse semelhante a um fluxograma, e disse até que já utilizou com estudantes com surdocegueira.

Como a autora ainda não havia explicado à P3 como utilizar o jogo, ela relatou ter sentido a falta de uma legenda ou manual impresso que explicasse o significado de cada peça, como usar e sugeriu adicionar ao jogo um manual ou legenda tátil e em braille, inclusive se colou a disposição para ajudar na confecção desse manual. As instruções de uso do jogo não foram

dadas antes pela autora porque P3 tinha dito já ter usado mapa conceitual antes, então, a autora achou que ela não teria dificuldades para usar as peças.

Ainda no segundo encontro a P3 foi orientada em relação a como fazer a leitura de um mapa conceitual e foi usado o mapa conceitual da atividade 4 da sequência didática de Beal e García (2020) sobre aquecimento global como exemplo para treinar a leitura. Como P3 é evidente, não foi solicitado a ela escrever o texto em braille usando as proposições do mapa, porém, P3 refez o mapa da Figura 7.6 com base nas orientações recebidas no segundo encontro (Figura 7.7).



Figura 7.7: Mapa sobre Tsunami refeito por P3 após o segundo encontro (Fonte: a autora).

Comparando o mapa da Figura 7.6 de P3 com o mapa reconstruído na Figura 7.7, na Figura 7.6 percebe-se a ausência de rótulos no primeiro mapa, e já no mapa da Figura 7.7 dá para ver a presença de rótulos e formações de proposições que são características de mapa conceitual. Ao conversar com P3 sobre a necessidade de se fazer uma formação sobre mapas conceituais, ela sugeriu o formato de oficina de no mínimo 8 horas. Segundo ela, todos os professores (educação especial ou ensino regular) deveriam fazer o uso de mapa conceitual, pois eles possibilitam a construção de sínteses de conteúdos retirando toda a complexidade envolvida num texto que pode dificultar a aprendizagem do estudante com cegueira, baixa visão ou até mesmo surdo.

Algo interessante relatado por P3 foi que o tipo de encaixe em baixo relevo da base do jogo de montar inspirou ela a finalizar um jogo de dominó de palavras que vem confeccionando para trabalhar sinônimos e antônimos, inclusive pediu informações da marcenaria onde foram feitos os cortes das peças do jogo. De acordo com a professora, a cegueira é a deficiência que requer mais SRM. Completou dizendo que irá confeccionar com recursos próprios um kit do Braille-CM-TUI para usar no próximo ano letivo. Segundo ela, os estudantes gostam muito de materiais de encaixar e tatear.

No terceiro encontro com P3 foi realizada a avaliação da ferramenta de autoria e do Braille-CM-TUI. Primeiramente foi apresentada a sequência didática do conto que serviu de exemplo durante a avaliação. Em seguida, usando o protótipo da ferramenta de autoria, foi demonstrado como o professor planeja e cadastra uma sequência didática como a do conto na ferramenta, as mensagens da ferramenta para orientar o cadastro da sequência didática e de suas atividades (p.ex. preenchimento de campos obrigatórios e mensagem explicativas ao passar o mouse sobre um campo na tela), como imprimir uma sequência didática ou atividade da ferramenta de autoria em braille usando o Braille Fácil e, por fim, como iniciar a execução de uma atividade para um estudante.

Logo na sequência, a autora explicou como preparar a base e como posicionar o estudante em frente à base de montagem para dar início a uma atividade. Na sequência, a autora executou o áudio que indica que uma atividade será iniciada e o áudio da leitura do enunciado da atividade 2 da sequência didática do conto, usado a voz Maria. Após ouvir o enunciado, a autora explicou a P3 como usar o teclado de opções para interagir com o sistema e usou como exemplo a opção para gravar a resposta falada. Em seguida, a autora simulou para P3 como seriam as demais atividades da sequência didática do conto e as mensagens de áudio retornadas em cada uma delas. Ao final, P3 preencheu os questionários para coleta de opinião sobre a ferramenta de autoria e sobre o Braille-CM-TUI. Os resultados serão apresentados e discutidos na seção 7.3.

A experimentação remota com a segunda professora especializada, denominada P4, ocorreu na sequência. Da mesma forma, no primeiro encontro falou-se do AEE, das dificuldades financeiras das SRM, da importância do braille e iniciou-se o treinamento em mapa conceitual. Quando questionado à P4 se ela conhecia o mapa conceitual, ela demonstrou ter conhecimento sobre esquemas gráficos para fazer sínteses e organogramas (conceitos aprendidos durante as duas graduações que possui que são Economia e Matemática). Com base nos conhecimentos de P4, a autora iniciou falando sobre o conceito de mapa conceitual, seus elementos (conceito, rótulo e proposições), a importância da questão focal para orientar a construção do mapa e como ler um mapa conceitual. Para P4 também foi dada a tarefa de casa para construir um mapa conceitual sobre Tsunami para apresentar no segundo encontro. A Figura 7.8 mostra o mapa conceitual construído por P4 sobre o tema Tsunami.

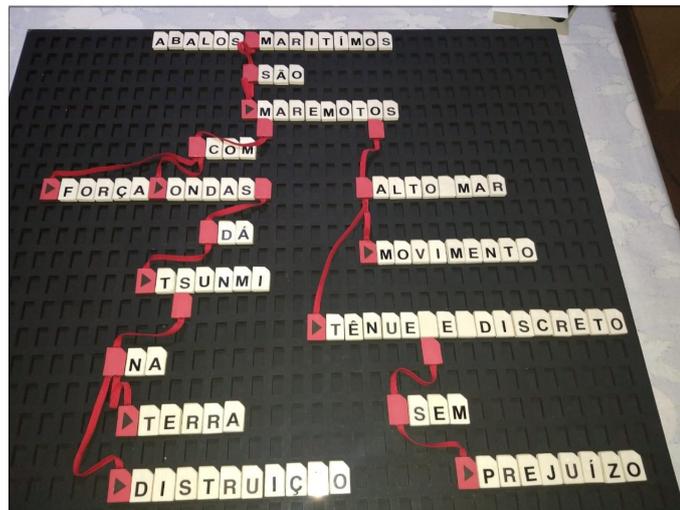


Figura 7.8: Mapa conceitual sobre Tsunami construído por P4 (Fonte: a autora).

Em uma chamada de voz via aplicativo Whatsapp, a autora e P4 conversaram sobre o mapa conceitual da Figura 7.8. A autora orientou P4 sobre o uso dos conectores e sobre como formar as proposições, sugeriu a P4 usar substantivos para conceitos e frases verbais para as relações. As modificações realizadas por P4 podem ser observadas na Figura 7.9.

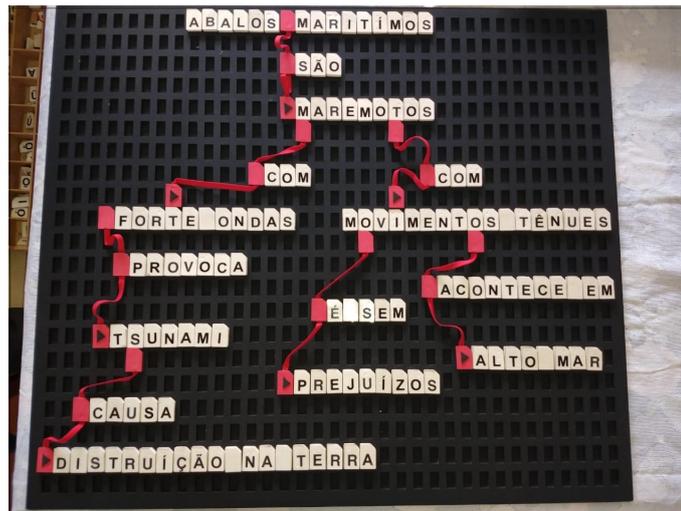


Figura 7.9: Mapa conceitual sobre Tsunami reconstruído por P4 (Fonte: a autora).

Conforme visto na Figura 7.9 o mapa ainda possui questões a serem resolvidas, como é o caso do uso da preposição "com" como rótulo não atendendo a regra do uso de verbos ou frases verbais em rótulos. Além disso, a colocação do conector posicionado no meio do conceito principal "abalos marítimos" que deveria estar encostado no início, em cima, embaixo ou no final do conceito, e no meio do conceito deveria ter sido usado um espaço em branco. Mesmo com pontos a serem corrigidos, o novo mapa está mais próximo de uma representação de mapa conceitual. A dificuldade encontrada por P4 para construir o mapa conceitual e entender a função, o uso e o posicionamento das peças, é a mesma que foi sentida por P3. Neste caso, a adição de um manual ou legenda com instruções de uso e posicionamento correto das peças no kit poderia resolver essa dificuldade. É importante lembrar que as professoras realizaram a tarefa de construir o mapa conceitual sobre Tsunami como tarefa de casa, sem o acompanhamento da autora. Se a tarefa tivesse sido realizada com a presença da autora, as dificuldades seriam resolvidas no momento da realização da tarefa, como foi feito com os estudantes. Mesmo assim, a autora reconhece a necessidade de um manual com instruções de uso do jogo.

No segundo encontro com P4 foi iniciada a avaliação da ferramenta de autoria. Primeiramente foi apresentada a sequência didática do conto, em seguida, usando o protótipo da ferramenta de autoria, foi explicado como cadastrar a sequência didática e as suas atividades, da mesma forma como foi apresentado à P3. Devido a compromissos de P4, a continuação da avaliação foi realizada no terceiro encontro.

No terceiro encontro com P4 foi realizada a avaliação do Braille-CM-TUI usando a mesma forma de condução utilizada com P3. Ao final, P4 preencheu os questionários.

Durante a experimentação do Braille-CM-TUI, em relação à voz Maria, P4 disse que os estudantes não gostam de voz robótica e preferem as vozes de seres humanos, por isso, ela achou a voz de Maria adequada.

7.3 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS VIA QUESTIONÁRIOS

A partir da aplicação de dois questionários foi possível coletar a opinião das professoras que realizaram a experimentação remota referente ao nível de satisfação de usuário, à usabilidade e à percepção do grau de utilidade da ferramenta de autoria e do Braille-CM-TUI.

As figuras 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14 e 7.15 mostram os resultados em quantidade de respostas atribuídas às diferentes alternativas das questões de múltipla-escolha sobre a ferramenta de autoria.

De acordo com a Figura 7.10, a dimensão satisfação do usuário teve avaliação positiva para as 5 questões. Entretanto, P4 ressaltou que alguns educadores poderiam não gostar de usar a ferramenta de autoria, por não estarem abertos ao novo, ao diferente e sugeriu, em caso de resistência desses profissionais, realizar um trabalho de apresentação, treinamento e incentivo mostrando os benefícios e as facilidades que eles podem obter com o uso do programa.

Sobre a avaliação da dimensão Aprendizibilidade da Figura 7.11, também foi positiva para as 3 questões, mas P4 fez uma observação sobre a terceira questão que alguns educadores poderiam não aprender a usar rapidamente em função de sua resistência ou até mesmo as suas dificuldades com o uso de software.

Em relação às questões sobre operabilidade (Figura 7.12), acessibilidade ((Figura 7.13)), proteção contra erro "do usuário" (Figura 7.14) e percepção da utilidade (Figura 7.15) todas tiveram avaliação positiva.

Afirmarções	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Minha experiência com o programa foi positiva.	0	0	0	0	2
Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.	0	0	0	0	2
Eu usaria o programa em minhas aulas.	0	0	0	0	2
Os professores vão gostar de usar o programa.	0	0	0	1	1
Eu recomendaria esse programa para os meus colegas.	0	0	0	0	2

Figura 7.10: Avaliação sobre satisfação do usuário da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Afirmarções	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a usar o programa.	0	0	0	1	1
Aprender a usar o programa foi fácil para mim.	0	0	0	1	1
A maioria dos professores aprenderiam a usar rapidamente este programa.	0	0	0	2	0

Figura 7.11: Avaliação sobre usabilidade/aprendizibilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Afirmarções	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Cadastrar atividades de mapas conceituais é fácil.	0	0	0	0	2
Cadastrar sequências didáticas no programa é fácil.	0	0	0	1	1
Executar uma sequência didática no programa é fácil.	0	0	0	1	1
Visualizar e imprimir os resultados das execuções é fácil.	0	0	0	0	2

Figura 7.12: Avaliação sobre usabilidade/operabilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
As palavras e os termos usados no programa são adequados.	0	0	0	0	2
Eu consigo reconhecer com facilidade as informações textuais e botões nas telas pois eles tem o mesmo formato e localização em todas elas.	0	0	0	0	2
Eu consigo navegar por todas as telas da mesma forma.	0	0	0	0	2
Os botões nas telas possuem explicações de como usá-los.	0	0	0	0	2
O tamanho das informações textuais e dos botões das telas são adequados.	0	0	0	0	2

Figura 7.13: Avaliação sobre usabilidade/acesibilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
O programa me protege de cometer erros.	0	0	0	0	2
O programa fornece mensagens sobre os erros.	0	0	0	0	2
As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.	0	0	0	0	2
Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.	0	0	0	0	2

Figura 7.14: Avaliação sobre usabilidade/proteção de erro do usuário da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
O programa é útil para planejar sequências didáticas envolvendo mapas conceituais para	0	0	0	0	2
O programa facilitar o planejamento de sequências didáticas de mapas conceituais.	0	0	0	0	2
O programa facilita a execução de sequências didáticas por estudantes cegos.	0	0	0	0	2
O programa é útil pois fornece opção para imprimir as sequências didáticas e os resultados das execuções em braille.	0	0	0	0	2
O programa auxilia o professor na tomada de decisão por meio dos registros das execuções das sequências didáticas realizadas por seus alunos.	0	0	0	0	2

Figura 7.15: Avaliação sobre percepção da utilidade da ferramenta de autoria (Fonte: a autora).

Sobre a avaliação do Braille-CM-TUI, os resultados são apresentados na Figura 7.16 sobre satisfação de usuário, Figura 7.17 sobre estética, Figura 7.18 aprendizibilidade, Figura 7.19 operabilidade, Figura 7.20 acessibilidade, Figura 7.21 proteção de erro do usuário e Figura 7.22 percepção a respeito da utilidade.

Sobre a avaliação da satisfação do usuário, apresentada na Figura 7.16, todas as 5 questões receberam avaliação positiva; porém, P4 fez uma observação sobre a 4ª questão "os estudantes vão gostar de usar o jogo". Segundo ela, isso vai depender da disposição, da curiosidade e da vontade de aprender coisas diferentes de cada estudante.

A dimensão estética também apresentou avaliação positiva para as 5 questões (Figura 7.17). Já a dimensão aprendizibilidade que tinha 3 questões, duas delas tiveram respostas positivas e uma delas sobre "eu precisei aprender poucas coisas para poder começar o jogo", P3 deu uma

resposta neutra (nem discordo, nem concordo)(Figura 7.18). As dimensões operabilidade (Figura 7.19), acessibilidade (Figura 7.20), proteção de erro do usuário (Figura 7.21) e percepção de utilidade (Figura 7.22) tiveram respostas positivas em todas as suas questões.

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Minha experiência com o jogo foi positiva.	0	0	0	0	2
Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.	0	0	0	0	2
Eu usaria o jogo em minhas aulas.	0	0	0	0	2
Os estudantes vão gostar de usar o jogo.	0	0	0	1	1
Eu recomendaria esse jogo para os meus colegas.	0	0	0	0	2

Figura 7.16: Avaliação sobre satisfação do usuário do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
O design do jogo é adequado.	0	0	0	0	2
A voz utilizada pelo jogo é adequada.	0	0	0	0	2
O relevo do braille das peças é perceptível para o cego.	0	0	0	0	2
A textura das peças do jogo é adequada.	0	0	0	0	2
O tamanho, a forma e as cores das peças são adequadas.	0	0	0	1	1

Figura 7.17: Avaliação sobre usabilidade/estética do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar o jogo.	0	0	1	0	1
Aprender a usar o jogo foi fácil para mim.	0	0	0	1	1
A maioria dos estudantes cegos aprenderiam a usar rapidamente este jogo.	0	0	0	0	2

Figura 7.18: Avaliação sobre usabilidade/aprendizibilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
Ler um mapa conceitual no jogo é fácil.	0	0	0	0	2
Montar um mapa conceitual no jogo é fácil	0	0	0	2	0
As orientações fornecidas pelo jogo são claras e compreensíveis.	0	0	0	0	2
O jogo orienta a montagem de mapa conceitual.	0	0	0	0	2

Figura 7.19: Avaliação sobre usabilidade/operabilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
É fácil encaixar as peças na base.	0	0	0	0	2
O tom e o volume da voz utilizada pelo jogo são adequados.	0	0	0	0	2
É possível diferenciar as peças de encaixar umas das outras com facilidade.	0	0	0	0	2
A caixa organizadora facilita a localização das peças.	0	0	0	1	1
O teclado para interagir com o jogo é acessível para o cego.	0	0	0	0	2

Figura 7.20: Avaliação sobre usabilidade/ acessibilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
O jogo protege o estudante cego de cometer erros.	0	0	0	0	2
O jogo fornece mensagens sobre os erros.	0	0	0	0	2
As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.	0	0	0	0	2
Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.	0	0	0	0	2

Figura 7.21: Avaliação sobre usabilidade/proteção do erro do usuário do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Afirmações	Discordo totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo totalmente
O jogo é útil para ensinar mapas conceituais para estudantes cegos.	0	0	0	0	2
O jogo pode melhorar o ensino de conceitos em sala de aula.	0	0	0	0	2
O jogo pode facilitar a aprendizagem de conceitos dos estudantes cegos.	0	0	0	0	2
Com o jogo pode-se verificar o nível de aprendizagem do estudante cego.	0	0	0	0	2
O jogo é útil para a aquisição de conhecimento pelos estudantes cegos.	0	0	0	0	2

Figura 7.22: Avaliação sobre percepção a respeito da utilidade do Braille-CM-TUI (Fonte: a autora).

Além das questões de múltipla-escolha os questionários tinham questões descritivas. A seguir as respostas dadas por P3 e P4 para estas questões sobre a ferramenta de autoria:

- 1. Você encontrou alguma dificuldade ao usar o programa? Se sim, descreva quais foram:** P3 e P4 responderam não ter tido dificuldade.
- 2. Cite aspectos positivos sobre o programa.** Para esta pergunta, as professoras deram respostas relacionadas ao Braille-CM-TUI. Desta forma, não foram consideradas para esta questão.
- 3. Cite aspectos negativos sobre o programa.** Um aspecto negativo citado por P3, que não é exatamente um aspecto negativo da ferramenta de autoria, é a falta de condição financeira das escolas para adquirir a ferramenta de autoria. P4 respondeu relacionado

ao Braille-CM-TUI, isso pareceu indicar que ela não compreendeu o que autora quis dizer por "programa", e sua resposta não foi considerada para esta questão.

4. **Dê sugestões para a melhoria para a ferramenta.** P3 sugeriu a possibilidade de ler gráficos de matemática. P4 respondeu relacionado ao Braille-CM-TUI porque provavelmente não entendeu o que a autora quis dizer com "ferramenta" e sua resposta não foi considerada para esta questão.
5. **Que recursos poderiam ser adicionados ao programa para torná-lo mais prático?** P3 sugeriu a leitura de gráficos de matemática. P4 respondeu relacionado ao Braille-CM-TUI porque provavelmente não entendeu o que a autora quis dizer com "programa" e sua resposta não foi considerada para esta questão.

Em relação às respostas descritivas sobre o Braille-CM-TUI dadas por P3 e P4, elas são apresentadas a seguir:

1. **Você encontrou alguma dificuldade ao usar o protótipo? Se sim, descreva quais foram.** As duas professoras responderam que não tiveram dificuldades.
2. **Cite aspectos positivos sobre a ferramenta.** Segundo avaliação de P3, a ferramenta poderá melhorar o vocabulário dos estudantes com cegueira, apoiar um maior poder de síntese e uma compreensão rápida do texto. Já para P4, "como o aluno cego está acostumado a trabalhar em linha, na horizontal, nesta ferramenta o trabalho a desenvolver é na vertical possibilitando novas sinapses neural e espacial".
3. **Cite aspectos negativos sobre a ferramenta.** O único ponto negativo apontado por P3 é falta de condição financeira das escolas para adquirir o Braille-CM-TUI. Já para P4 o estudante necessita trabalhar em pé devido ao espaço necessário de movimentação (buscar as peças na caixa e levá-las até a base para encaixar). Entretanto, esse ponto considerado como negativo por P4 não foi observado pela autora durante o uso com os estudantes. Alguns deles fizeram o uso sentados. Os que fizeram em pé não relataram como sendo um problema. O que pode ter acontecido com P4, por ela ser vidente, foi a necessidade dela ficar em pé para visualizar melhor as peças na caixa e o mapa conceitual que estava construindo na base, fazendo como que ela tivesse que se movimentar constantemente para buscar as peças, levar até a base e encaixar.
4. **Dê sugestões para a melhoria para o Braille-CM-TUI.** P3 sugeriu usar somente conectores com apenas uma seta que são aqueles usados para formar proposições simples (p.ex. braille - formado por -> cela braille). Sobre o teclado de opções, P3 sugeriu usar um teclado de computador, pois são recursos encontrados com facilidade em SRM, um teclado específico implica aquisição, o que pode ser inviável. Além disso, sugeriu deixar o protótipo do teclado da forma como está para ser usado como uma legenda para orientar o estudante e sugeriu um botão novo no teclado para ativar o áudio da explicação do significado das peças do jogo e a orientação de como usá-las. Já P4 sugeriu aplicar a mesma lógica da disposição e da construção do mapa conceitual na vertical na caixa organizadora, organizando as peças em colunas onde a primeira coluna teria as letras do a ao j que são as mais utilizadas, além disso, com a divisória da primeira coluna para a segunda um pouco mais elevada.
5. **Para qual(is) conteúdo(s) você usaria o Braille-CM-TUI?** P3 usaria com língua portuguesa, história, geografia, ciências e matemática. P4 utilizaria em todos os conteúdos que podem ser transmitidos com palavras (conteúdos textuais).

6. **Que recursos poderiam ser adicionados à ferramenta para torná-la mais prática?** P3 sugeriu adicionar peças de sinais de pontuação e P4 adicionar ao ambiente fones de ouvidos para uso individual para evitar transmitir doenças do ouvido.
7. **Você acha que seria benéfico permitir a criança acionar o feedback por comando de voz?** Tanto para P3 quanto para P4, seria interessante acionar feedback por comando de voz.
8. **Você usaria a ferramenta para outra finalidade? Alfabetização braille, por exemplo?** P3 usaria com certeza pois as peças têm o formato da cela braille, podendo ser usadas também na alfabetização braille. P4 também usaria, porém não citou em qual.
9. **Você acha fácil manter e consertar o jogo?** Para P3, o jogo possui partes que podem ser removidas o que facilita a manutenção e o conserto. A P4 também achou o jogo fácil de manter.
10. **Você considera baratos os materiais utilizados no jogo?** Para as duas professoras, os materiais são de baixo custo.
11. **Comentários adicionais:** P4, também professora de sala de aula regular, disse que usaria o Braille-CM-TUI num trabalho colaborativo com o ensino regular para fornecer mais elementos para melhorar a aprendizagem (aproveitamento) do estudante no conteúdo. Ela também sugeriu a realização de uma oficina para os professores sobre mapa conceitual usando o kit físico do Braille-CM-TUI. A oficina poderia ser dividida em encontros presenciais e atividades para os participantes fazerem em casa. A professora acrescentou que ficou entusiasmada e motivada com o Braille-CM-TUI e se candidatou para participar da oficina.

7.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo descreveu os resultados obtidos com a execução de uma sequência didática para ensinar mapa conceitual para estudantes com cegueira e os resultados das avaliações do Braille-CM-TUI e da ferramenta de autoria realizadas de forma remota por duas professoras especializadas.

A seção 7.1 apresentou a execução de uma sequência didática de atividades que foram planejadas para introduzir o tema mapa conceitual para 4 estudantes com cegueira de Beal e García (2020). A execução aconteceu em SRM onde esses estudantes recebem o AEE acompanhados de suas professoras especializadas (P1 e P2). Para realizar as atividades de mapa conceitual eles utilizaram o jogo de peças de encaixar. Para todos os estudantes, este foi o primeiro contato com um mapa conceitual. Apesar disso, todos conseguiram realizar as atividades propostas na sequência didática. A atividade de maior dificuldade foi a de construir um mapa conceitual, que exigiu bastante auxílio da autora durante a realização. No entanto, é uma atividade viável, como pode-se ver no caso do AL1 que construiu um mapa conceitual sozinho. Além disso, foram identificadas possibilidades de melhorias no jogo que serão incorporadas em trabalhos futuros. Durante a realização das atividades, foram observadas dificuldades com a escrita braille e a língua portuguesa. Estas dificuldades ainda presentes em estudantes da oitava série, juntamente com a afirmação de especialistas na educação de pessoas com cegueira de o domínio da leitura e da escrita em braille serem necessárias ao alcance do pleno emprego, entre outros direitos ((Stanfa e Johnson, 2017),(Silverman e Bell, 2018),(Nações Unidas do Brasil, 2019)), demonstram, mais uma vez, a emergência da apropriação da tecnologia, também, no apoio à

aquisição destas capacidades ao longo de todo o ciclo escolar. Em relação aos mapas conceituais, todos os estudantes mostraram-se aptos a trabalhar com eles não tendo apresentado impedimentos significativos. Isso pode servir como um indicativo de que, com adaptações e recursos adequados, a ferramenta mapa conceitual pode ser trabalhada com estudantes com cegueira (Beal e García, 2020).

Além disso, registra-se aqui o papel crucial que o conhecimento e a prática das professoras P1 e P2 junto a estes estudantes desempenharam no projeto para além da mediação entre o braille e o português. Isto leva, de forma recorrente mas nem por isso desnecessária, ao registro da importância crítica de trabalhar conjuntamente de maneira continuada com os educadores no planeamento, na construção, nos experimentos e na avaliação das aplicações da tecnologia em contextos educacionais. Esta prática inter, multi e transdisciplinar permite não somente a construção de tecnologia robusta do ponto de vista educacional e frutífera nas escolas como, também, a realimentação, para os profissionais de tecnologia, das necessidades das comunidades escolares na Educação Pública, tão carente de material didático de qualidade.

A seção 7.2 apresentou os resultados de uma avaliação remota da ferramenta de autoria e do Braille-CM-TUI realizada por 2 professoras especializadas. Primeiramente as professoras receberam um treinamento em mapa conceitual e na sequência realizaram a avaliação da ferramenta e da TUI e preencheram questionários. De acordo com os questionários apresentados na seção 7.3 (resultados e análise dos dados coletados via questionários), tanto a ferramenta de autoria quanto ao Braille-CM-TUI tiveram avaliações positivas para as dimensões satisfação do usuário, usabilidade e percepção da utilidade. Além disso, as professoras sugeriram a realização de oficina sobre mapa conceitual com os professores da educação especial e da sala de aula regular e melhorias no Braille-CM-TUI, tais como: organizar as peças na caixa em colunas, usar teclado de computador para interagir com o ambiente, usar conectores simples, incluir fones de ouvido ao kit e botão de opção para ler o significado de cada peça e como usar.

8 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa-ação realizada e apresentada nesta tese possibilitou o desenvolvimento de uma proposta de ambiente de usuário com interação tangível pra estudantes com cegueira construírem conhecimento via mapas conceituais.

A motivação para essa pesquisa partiu da necessidade de apoiar o resgate do uso do braille em atividades de letramento para combater a "desbrailização", já que o braille é essencial e necessário para a educação e para o alcance da cidadania plena das pessoas com cegueira (Stanfa e Johnson, 2017), (Silverman e Bell, 2018), (Nações Unidas do Brasil, 2019). Outra motivação foi tornar os mapas conceituais acessíveis aos cegos, que são privados dos benefícios da utilização deste útil instrumento pedagógico por ele ser considerado não acessível a eles simplesmente pelo fato de ser um conceito que envolve representação visual.

A revisão de literatura possibilitou aprofundar o conhecimento sobre "desbrailização", sobre o ensino de mapas conceituais para estudantes com cegueira e sobre o uso de interfaces tangíveis que apoiam o letramento braille. Alguns estudos deram ideias de como adaptar mapas conceituais para estudantes com cegueira. Outros, identificados em um Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL), forneceram um conjunto de requisitos de insumo ao design e ao desenvolvimento do Braille-CM-TUI (do Inglês, *Braille-Concept Maps - Tangible User Interface*). Esse MSL foi publicado em conferência na área de informática na educação (Apêndice D).

Uma pesquisa-ação foi desenvolvida em 2 Salas de Recursos Multifuncionais (SRM) com 4 estudantes com cegueira acompanhados de suas professoras especializadas. Foi realizada uma oficina com os estudantes para introduzir o conceito de mapa conceitual, já que nenhum deles tinha conhecimento sobre mapa conceitual. Na oficina, foi usada a Interface Tangível de Usuário (do inglês, *Tangible User Interface - TUI*) para a realização de uma sequência de atividades de mapa conceitual. Os resultados da oficina mostraram que os estudantes tinham condições de se apropriar e de fazer o uso de mapa conceitual, e que isso pode ter sido facilitado pelo fato de a TUI ter sido projetada e implementada de forma especialmente construída para eles. A experiência com a oficina foi relatada em trabalho que foi publicado em congresso na área de informática na educação (Apêndice E).

Durante a oficina de mapa conceitual com os estudantes, foram observadas possibilidades de melhoria na TUI que podem facilitar o seu uso pelos estudantes com cegueira. Essas melhorias serão implementadas em trabalhos futuros.

Com o fechamento das escolas provocado pela pandemia do Novo coronavírus (COVID-19), a pesquisa-ação foi interrompida. Para dar continuidade nas atividades de avaliação e experimentação do Braille-CM-TUI, foi desenvolvido um protótipo do tipo Mágico de OZ que possibilitou que outras 2 professoras especializadas fizessem a avaliação de forma remota. Desta forma, as 2 professoras avaliaram a ferramenta de autoria e o Braille-CM-TUI usando uma sequência didática que tinha sido desenvolvida em colaboração com uma das professoras dos estudantes que realizaram a oficina. Essa sequência didática tinha sido elaborada para trabalhar a leitura e a escrita braille dos estudantes pois alguns deles, durante a oficina, apresentaram dificuldades com o braille e com a língua portuguesa. A ideia era usar o Braille-CM-TUI para diminuir a dificuldade dos estudantes ao mesmo tempo em que eles faziam os testes e avaliações do ambiente.

Os resultados das avaliações remotas realizadas pelas 2 professoras obtidos a partir de observação e coleta de opinião mostraram uma avaliação positiva para a ferramenta de autoria e

para o Braille-CM-TUI sobre satisfação do usuário, usabilidade e percepção de utilidade. Algumas sugestões de melhorias foram apontadas pelas professoras e também serão implementadas em trabalhos futuros.

Neste sentido, levando em consideração todo o trabalho desenvolvido, há evidências que comprovam as hipóteses de trabalho: É possível construir mapas conceituais em braille usando uma TUI. O planejamento de atividades com mapas conceituais tangíveis em braille pode ser facilitado por meio de uma ferramenta de autoria. Um framework conceitual pode possibilitar que professores e demais profissionais da educação construam uma TUI com materiais tangíveis para estudantes com cegueira construir mapas conceituais em braille.

Os resultados da pesquisa desenvolvida possuem algumas limitações. Dentre elas, não foi realizada a experimentação do Braille-CM-TUI com os estudantes com cegueira em função do cancelamento das aulas e do fechamento das escolas. Porém, foi possível realizar uma oficina para introduzir os mapas conceituais para esses estudantes usando a TUI do ambiente. Na experimentação remota realizada com as professoras não foi utilizado um protótipo funcional. O ideal seria instalar e utilizar um protótipo funcional em SRM para que essas professoras pudessem experimentar e observar seus alunos usando o protótipo para a realização de tarefas reais e significativas. Entretanto, o protótipo do Mágico de OZ possibilitou a elas conhecer o Braille-CM-TUI, avaliar e sugerir contribuições. A interrupção da pesquisa-ação que estava sendo desenvolvida nas 2 escolas afetou o trabalho de colaboração que vinha sendo desenvolvido junto às professoras e os estudantes. Mas este contratempo foi contornado, para efeitos desta tese, por meio da participação de outras 2 professoras da educação especial de forma remota.

As principais contribuições desse trabalho foram:

- O conjunto de requisitos obtidos no Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) que podem guiar o design de TUI para estudantes com cegueira apresentado em Beal e García (2019);
- A transformação de um modelo visual (o mapa conceitual) em um modelo tátil por meio de uma TUI;
- O próprio recurso tangível construído para ensinar mapa conceitual para estudantes com cegueira apresentado em Beal e García (2020);
- A sequência didática sobre o gênero conto para trabalhar a leitura, a escrita e a compreensão de textos em braille usando mapa conceitual (Apêndice C);
- Um framework que possibilita a construção de uma TUI com recursos tangíveis para estudantes com cegueira construir mapa conceitual;
- Um modelo conceitual de um ambiente de usuário com interação tangível para apoiar atividades de letramento braille com mapa conceitual;
- Um modelo conceitual de uma ferramenta de autoria para planejamento de sequências didáticas com mapas conceituais;
- O protótipo funcional da ferramenta de autoria e do Braille-CM-TUI que foi desenvolvido para ser instalado em SRM mas que não pôde ser utilizado devido ao fechamento das escolas.

Além disso, é importante destacar que o Braille-CM-TUI tem potencial para ser usado com estudantes videntes em contexto inclusivo, pois a TUI possui os códigos braille e as letras

do alfabeto do Português. Por ter sido desenvolvido baseado em princípios do design inclusivo, o Braille-CM-TUI pode ser trabalhado com outros públicos (p.ex., surdos).

Os resultados desta tese podem ser úteis para diferentes profissionais. Os projetistas e desenvolvedores de interfaces tangíveis para pessoas com cegueira podem seguir o conjunto de requisitos elencados em Beal e García (2019). Eles também podem usar o framework conceitual para implementar uma TUI com mapa conceitual em braille, implementar uma ferramenta de autoria para sequências didáticas com mapa conceitual usando o modelo conceitual e, por fim, implementar um ambiente com interação tangível para a construção de mapa conceitual em braille usando o modelo conceitual. Já os professores da educação especial podem construir e utilizar um recurso tangível para construir mapa conceitual em braille baseados no recurso apresentado em Beal e García (2020) e no framework desta tese e, além disso, usar como base a sequência didática que foi usada para introduzir os mapas conceituais para estudantes com cegueira também apresentada em Beal e García (2020).

Em trabalhos futuros pretende-se dar continuidade ao processo de pesquisa-ação que foi interrompido e implementar as seguintes melhorias que foram identificadas durante o uso e avaliação do Braille-CM-TUI:

- Avaliar com os estudantes se o menu falado (descrito na seção 5.3 do protótipo) está muito longo e avaliar a facilidade de memorização das opções por eles. Na avaliação das professoras, os estudantes não teriam dificuldades, entretanto, é necessário avaliar com os estudantes e obter o feedback deles;
- Avaliar com os estudantes se eles conseguem fazer a associação e o reconhecimento do mapa de uma atividade impressa via Braille Fácil na forma de lista de proposições (Figura 5.17), como sendo o mesmo mapa feito na TUI;
- Elaborar um manual de instruções de como usar o Braille-CM-TUI e a ferramenta de autoria para os professores incluindo sugestões de sequências didáticas com mapa conceitual;
- Elaborar uma legenda tátil e em braille semelhante ao protótipo do teclado apresentado na Figura 5.14 sobre as opções de interação com o sistema. Caso o estudante não se recorde das opções, ele pode recorrer a esta legenda;
- Substituir o teclado da Figura 5.14 por um teclado de computador. Segundo uma das professoras os estudantes com cegueira tem muita facilidade com esses teclados que são encontrados com facilidade em SRM;
- Criar uma legenda tátil em braille para cada peça do jogo com instruções de como usá-la e posicioná-la;
- Adicionar no menu falado uma opção para ouvir instruções sobre as peças, como posicioná-las e como fazer a leitura das proposições;
- Construir uma nova versão da caixa organizadora onde as peças ficam organizadas em colunas;
- Adicionar ao kit fones de ouvido;
- Avaliar com os estudantes se a adoção da seguinte regra para posicionar os concetores pode facilitar a leitura do mapa conceitual: posicionar a extremidade lisa no final do 1º conceito, no início da proposição, e posicionar a extremidade com a seta no início do conceito final.

Ainda em trabalhos futuros, pretende-se investigar outras soluções tecnológicas (RFID, microcontroladores, entre outros) para capturar e reconhecer as proposições do mapa conceitual construído na TUI, disponibilizar os modelos digitais das peças que compõem a TUI para que possam ser fabricados manualmente, em marcenaria ou até mesmo em impressora 3D e estabelecer parcerias com laboratórios de design e 3D para a fabricação do kit do jogo de peças. Além disso, desenvolver um website sobre o Braille-CM-TUI para compartilhar informações sobre o projeto, cadastrar escolas interessadas em usar o Braille-CM-TUI, cadastrar professores interessados na formação sobre mapa conceitual, disponibilizar os modelos digitais para download e manual de instruções.

REFERÊNCIAS

- Aldeia Numaboa (2009). Frequência de ocorrência de letras no Português. <http://www.numaboa.com.br/criptografia/criptoanalise/310-Freuencia-no-Portugues>. Acesso em: 22/06/2020.
- Alhussayen, A., Jafri, R. e Benabid, A. (2017). Requirements' Elicitation for a Tangible Interface-Based Educational Application for Visually Impaired Children. páginas 583–596. Springer, Cham.
- Almeida, M. (2019). As Condições da Saúde Ocular no Brasil. *Revista Universo Visual*, páginas 6–8. <https://universovisual.com.br/secao/edicoes/pdfs/UV113.pdf>. Acesso em: 16/12/2020.
- Alvargonzález, D. (2011). Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Transdisciplinarity, and the Sciences. *International Studies in the Philosophy of Science*, 25(4):387–403.
- American Foundation for the Blind (2019). What Is Braille? <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/braille/what-braille>. Acesso em: 16/05/2019.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Plátano Edições Técnicas, Lisboa.
- Baptista, J. A. L. S. (2000). *A invenção do Braille e a sua Importância na Vida*. Lisboa.
- Batista, R. D. (2018). *O PROCESSO DE ALFABETIZAÇÃO DE ALUNOS CEGOS E O MOVIMENTO DA DESBRAILIZAÇÃO*. Tese de doutorado, Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP).
- Batista, R. D., do Amaral, M. H. e Monteiro, M. I. B. (2018). Quem ensina braille para alunos cegos? – A formação de professores em questão. *Horizontes*, 36(3):36–49.
- Batista, R. D., Lopes, E. R. e Pinto, G. U. (2017). A alfabetização de alunos cegos e as tendências da desbrailização: uma discussão necessária (p. 179-194). *Revista de Ciências da Educação*.
- Beal, F. e García, L. S. (2019). Mapeamento Sistemático sobre Interfaces Tangíveis para apoiar o ensino do Braille. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, páginas 1131–1140, Brasília - DF. Sociedade Brasileira de Computação - SBC.
- Beal, F. e García, L. S. (2020). Introduzindo mapas conceituais para estudantes com cegueira via recursos tangíveis. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*. Sociedade Brasileira de Computação - SBC. Status: Aceito.
- Bird, S. e Loper, E. (2002). NLTK: The Natural Language Toolkit. Em *Proceedings of the ACL-02 Workshop on Effective tools and methodologies for teaching natural language processing and computational linguistics*, páginas 63–70.
- Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale.

- Bruno, M. M. G. e da Mota, M. G. B. (2001). *Programa de Capacitação de Recursos Humanos do Ensino Fundamental: deficiência visual vol. 2 Fascículo IV (Série Atualidades Pedagógicas; 6)*. Ministério da Educação - MEC, Brasília - DF. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/def_visual_2.pdf. Acesso em: 22/07/2020.
- Bueno, J. e García, L. S. (2015). Pesquisa-ação na construção de insumos conceituais de um ambiente computacional de apoio ao letramento bilíngue de crianças surdas. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, volume 26, página 887.
- Caldeira de Oliveira, R. F. (2006). Por que os livros em braille são necessários? *Revista Benjamin Constant*, (34).
- Cañas, A. J., Reiska, P. e Novak, J. D. (2016). Is my concept map large enough? Em *Communications in Computer and Information Science*, páginas 128–143. Springer Verlag.
- Carbajal, M. L., Cecília, M. e Baranauskas, C. (2015). TaPrEC: Desenvolvendo um ambiente de programação tangível de baixo custo para crianças. Em *Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE*.
- Cerqueira, J. B., Lemos, E. R., da Mota, M. G. B. e de Oliveira, R. F. C. (2006). *GRAFIA BRAILLE PARA A LÍNGUA PORTUGUESA*. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial., Brasília.
- Chien, C. W. e Chin-Wen (2015). Enhancing Taiwanese EFL freshmen's reading comprehension and knowledge construction through online concept mapping tools. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 7(1):19.
- Domingues, C. d. A. (2010). *A educação especial na perspectiva da inclusão escolar: os alunos com deficiência visual: baixa visão e cegueira*, volume 3. Brasília.
- Facon, J. (2006). Técnicas de Processamento Digital de Imagens Aplicadas à Área da Saúde. <https://www.ppgia.pucpr.br/facon/Books/2006ERI2006CapituloNo3.pdf>.
- Falcão, T. P. e Gomes, A. S. (2007). Interfaces Tangíveis para a Educação. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, volume 1, páginas 579–589.
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):347–358.
- Forcelini, P. G., García, L. S. e Schultz, E. P. B. (2018). Braille technology beyond the financial barriers: A braille literacy platform to effectively combat braille literacy crisis. Em *Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion - DSAI 2018*, páginas 41–46, New York, New York, USA. ACM Press.
- Foucambert, J. (2008). *Modos de ser leitor: Aprendizagem e ensino da leitura no ensino fundamental*. Editora UFPR, Curitiba.
- Freire, P. (1987). *A importância do ato de ler*. Cortez Editora, São Paulo, 18 edition.

- Freitas, F. (2019). Fundação Dorina e LEGO Foundation lançam LEGO Braille Bricks para crianças com deficiência visual. <https://www.fundacaodorina.org.br/blog/fundacao-dorina-e-lego-lancam-braille-bricks/>. Acesso em: 10/10/2019.
- Fundação Dorina Nowill (2020). Livro Falado. <https://www.fundacaodorina.org.br/nossa-atuacao/distribuicao-de-livros/formatos-acessiveis/livro-falado/>. Acesso em: 23/07/2020.
- Gehm, R. L. e Fortuna da Silva, M. C. (2017). ALFABETIZAÇÃO DE ALUNOS CEGOS: UM ESTUDO SOBRE PESQUISAS RELACIONADAS AO PROCESSO DE DESBRAILIZAÇÃO. Em *XIII Congresso Nacional de Educação*, páginas 827–838, Curitiba.
- Hayes, G. R. (2011). The relationship of action research to human-computer interaction. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 18(3):15:1–15:20.
- INEP (2020). Censo Escolar. <http://portal.inep.gov.br/web/guest/resultados-e-resumos>. Acesso em: 19/08/2020.
- Ishii, H. (2008). The tangible user interface and its evolution. *Communications of the ACM*, 51(6):32.
- Ishii, H. e Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. Em *Published in the Proceedings of CHI '97*.
- Jafri, R., Aljuhani, A. M. e Ali, S. A. (2017). A tangible user interface-based application utilizing 3D-printed manipulatives for teaching tactual shape perception and spatial awareness sub-concepts to visually impaired children. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11:3–11.
- Kachhap, S. e Mane, K. H. (2019). CONCEPT MAPPING FOR STUDENTS WITH VISUAL IMPAIRMENT: PRACTICES AND CHALLENGES. *Journal of Disability Management and Special Education (JODYS)*, 2(1):6–15.
- Khajavi, Y. e Ketabi, S. (2012). Influencing EFL Learners' Reading Comprehension and Self-efficacy Beliefs: The Effect of Concept Mapping Strategy. *Porta Linguarum: revista internacional de didáctica de las lenguas extranjeras*. ISSN 1697-7467, (17):9–28.
- Kock, N. (2013). Action Research. url = <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/action-research-its-nature-and-relationship-to-human-computer-interaction>. Acessado em 24/10/2018.
- Liu, C.-C., Chen, H. S., Shih, J.-L., Huang, G.-T. e Liu, B.-J. (2011). An enhanced concept map approach to improving children's storytelling ability. *Computers Education*, 56(3):873 – 884.
- Loja Civiam (2020). Reglete de mesa com punção, prancheta e máquina braille. <https://www.lojaciviam.com.br/produtos-para-cegos>. Acesso em: 23/07/2020.
- Machado, A. R. e Cristovão, V. L. L. (2006). A construção de modelos didáticos de gêneros: aportes e questionamentos para o ensino de gêneros. *Revista Linguagem em (Dis)curso*, 6(3).
- Martinez, A. B. C., Barros, A. S. S. e e Santos, A. C. (2018). Letramentos de jovens cegos: estudo de caso em escolas do distrito de Braga. *Colóquio Luso-Brasileiro de Educação - COLBEDUCA*, 3(0).

- Melare, J. (2013). *Novas tecnologias facilitam a leitura e o letramento de deficientes visuais*. Número 154. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Melare, J. (2014). Novas tecnologias facilitam a leitura e o letramento de deficientes visuais – inclusive – inclusão e cidadania. = <http://www.inclusive.org.br/arquivos/26018>. Acessado em 08/07/2018.
- Menescal Conde, A. J. (2020). Definição de cegueira e baixa visão. http://www.ibc.gov.br/images/conteudo/AREAS_ESPECIAIS/CEGUEIRA_E_BAIXA_VISAO/ARTIGOS/Def-de-cegueira-e-baixa-viso.pdf. Acesso em: 29/02/2020.
- Ministério da Educação, Conselho Nacional de Educação e Câmara de Educação Básica (2009). RESOLUÇÃO Nº 4, DE 2 DE OUTUBRO DE 2009.
- Ministério da Educação (2008). Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva. <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000011730.pdf>. Acesso em: 2020-12-20.
- Moraes, M. E. L. (2016). *A Leitura Tátil e os Efeitos da Desbrailização em Aulas de Matemática*. Tese de doutorado, UFPA (Universidade Federal do Pará).
- Moreira, E. e Baranauskas, M. C. (2015). Tecnologias tangíveis e vestíveis como recursos para ambiente inclusivo: uma revisão sistemática. Em *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, volume 26, página 842.
- Moreira, M. A. (2010). *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*. Centauro, São Paulo, 1 edition.
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem Significativa: A Teoria e Textos Complementares*. Livraria da Física, São Paulo, 1 edition.
- Nações Unidas do Brasil (2019). Primeiro Dia Mundial do Braille destaca importância da linguagem escrita para os direitos humanos. <https://nacoesunidas.org/primeiro-dia-mundial-do-braille-destaca-importancia-da-linguagem-escrita-para-os-direitos-humanos/>.
- NFB (2009). The braille literacy crisis in america facing the truth, reversing the trend, empowering the blind. Relatório técnico, National Federation of the Blind Jernigan Institute. https://nfb.org/images/nfb/documents/pdf/braille_literacy_report_web.pdf, Acessado em: 07/08/2018.
- Nikolarazi, M. e Vekiri, I. (2012). The design of a software to enhance the reading comprehension skills of deaf students: An integration of multiple theoretical perspectives. *Education and Information Technologies*, 17(2):167–185.
- Novak, J. e Cañas, A. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5:175–184.
- Novak, J. D. e Cañas, A. J. (2010). A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. *Práxis Educativa (Brasil)*, 5(1).

- Novak, J. D., Gowin, D. B. e Kahle, J. B. (1984). *Learning How to Learn*. Cambridge University Press.
- Nunes, S., Fernando, J. e Lomônaco, B. (2010). O aluno cego: preconceitos e potencialidades. Relatório Técnico 1. <http://www.scielo.br/pdf/pee/v14n1/v14n1a06>.
- Nunes, S. d. S. e Lomônaco, J. F. B. (2008). Desenvolvimento de conceitos em cegos congênitos: caminhos de aquisição do conhecimento Desenvolvimento de conceitos em cegos congênitos. *Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional (ABRABEE)*, 12(1):119–138.
- Oliveira, R. (2016). Braille nos dias de hoje: objeto de vitrine ou ferramenta indispensável? = <https://www.fundacaodorina.org.br/blog/braille-nos-dias-de-hoje-objeto-de-vitrine-ou-ferramenta-indispensavel/>. Acessado em 20/07/2018.
- Pessoa Sampaio, M. L. (2009). Quando “negócio de menino com menina” acontece em sala de aula: análise da função mediadora do planejamento pedagógico. *VEREDAS ON-LINE – ATEMÁTICA*, 2:117–128.
- Petri, G., Gresse von Wangenheim, C. e Ferreti Borgatto, A. (2016). Questionario-Avaliação-Jogos-DIGITAIS-portuguesx. Relatório técnico, UFSC - Projeto Evaluation of Educational Games for Computing Education.
- Petri, G., Gresse von Wangenheim, C. e Ferreti Borgatto, A. (2017). Evolução de um Modelo de Avaliação de Jogos para o Ensino de Computação. Em *25^o Workshop sobre Educação em Computação*, São Paulo.
- Phantharakphong, P. e Pothitha, S. (2014). Development of English Reading Comprehension by Using Concept Maps. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116:497–501.
- Razet, C. (2014). Da leitura de uma história à leitura de uma escrita. *Revista X*, 2(0.2014).
- Sanchez, J. e Flores, H. (2010). Concept mapping for virtual rehabilitation and training of the blind. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18(2):210–219.
- Sánchez García, L., Hilton Sayeg de Siqueira, J., Bueno, J. e Galera Forcelini, P. (2016). A Tangible Interaction Platform as Concrete Support for Blind Children Literacy in Braille. páginas 135–146. Springer, Cham.
- Sandín Esteban, M. P. (2010). *Pesquisa Qualitativa em Educação*. AMGH, Porto Alegre, 1 edition.
- Scarlato, L. L., Dushkina, Y. e Landy, S. (1999). TICLE: a Tangible Interface for Collaborative Learning Environments.
- Shaer, O. e Hornecker, E. (2009). Tangible user interfaces: Past, present, and future directions. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 3(1-2):1–137.
- Silverman, A. M. e Bell, E. C. (2018). The Association between Braille Reading History and Well-being for Blind Adults. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 8(1).
- Soares, M. (1999). *Letramento: um tema em três gêneros*. Autêntica, São Paulo.

- Soares, M. (2004). Letramento e alfabetização: as muitas facetas*. *Revista Brasileira de Educação*, (25):5–17.
- Souza Ventura, L. A. (2019). Braile é fundamental na educação inclusiva. <https://brasil.estadao.com.br/blogs/vencer-limites/braile-e-fundamental-na-educacao-inclusiva/>. Acesso em: 04/01/2019.
- Stanfa, K. e Johnson, N. (2017). Improving Reading Fluency in Braille Readers Using Repeated Readings. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 7(1).
- Susman, G. e Evered, R. D. (1978). An assessment of the scientific merits of action research. *Administrative Science Quarterly*, 23.
- Thiollent, M. (2011). *Metodologia da Pesquisa-Ação*. Cortez, São Paulo, 18 edition.
- Tillmann, L., Lizete De Oliveira, O. e Heinig, M. (2015). LER COM O TATO OU LER OUVINDO: A relação das pessoas cegas com o letramento digital. *II Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão do IFC*.
- Topobo (2018). Topobo. <http://www.topobo.com/>. Acesso em: 2018-06-05.
- Tripp, D. (2005). Action research: a methodological introduction. *Educação e Pesquisa*, 31(3):443–466.
- Uliana, C. C. (2008). NVDA: Leitor de Tela Livre para Windows. <http://www.acessibilidadelegal.com/33-nvda.php>. Acesso em: 23/07/2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Questionário para coleta de opinião sobre a Ferramenta de Autoria para Professores

Gostaríamos que você respondesse as questões abaixo sobre a sua percepção da ferramenta de autoria (programa para planejar sequências didáticas sobre mapas conceituais) para nos ajudar a melhorá-la.

INFORMAÇÕES GERAIS	
Escola:	
Disciplina:	
Idade:	
Gênero:	(<input type="checkbox"/>) Masculino (<input type="checkbox"/>) Feminino

Por favor, marque uma opção de acordo com o quanto você concorda ou discorda de cada afirmação abaixo.

AFIRMAÇÕES	Discordo Totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Minha experiência com o programa foi positiva.					
Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.					
Eu usaria o programa em minhas aulas.					
Os professores vão gostar de usar o programa.					
Eu recomendaria esse programa para os meus colegas.					
Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a usar o programa.					
Aprender a usar o jogo foi fácil para mim.					
A maioria dos professores aprenderiam a usar rapidamente este programa.					
Cadastrar atividades de mapas conceituais é fácil.					
Cadastrar sequências didáticas no programa é fácil.					
Executar uma sequência didática no programa é fácil.					
Visualizar e imprimir os resultados das execuções é fácil.					
As palavras e os termos usados no programa são adequados.					
Eu consigo reconhecer com facilidade as informações textuais e botões nas telas pois eles tem o mesmo formato e localização em todas elas.					
Eu consigo navegar por todas as telas da mesma forma.					
Os botões nas telas possuem explicações de como usá-los.					
O tamanho das informações textuais e dos botões das telas são adequados.					
O programa me protege de cometer erros.					
O programa fornece mensagens sobre os erros.					
As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.					
Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.					
O programa é útil para planejar sequências didáticas envolvendo mapas conceituais para estudantes cegos.					
O programa facilitar o planejamento de sequências didáticas de mapas conceituais.					
O programa facilita a execução de sequências didáticas por estudantes cegos.					
O programa é útil pois fornece opção para imprimir as sequências didáticas e os resultados das execuções em					

braille.					
O programa auxilia o professor na tomada de decisão por meio dos registros das execuções das sequências didáticas realizadas por seus alunos.					

Você encontrou alguma dificuldade ao usar o programa? Se sim, descreva quais foram: _____

Cite aspectos positivos sobre o programa: _____

Cite aspectos negativos sobre o programa: _____

Dê sugestões para a melhoria para a ferramenta: _____

Que recursos poderiam ser adicionados ao programa para torná-la mais prática? _____

Comentários adicionais: _____

Muito obrigado pela sua contribuição!

Nome do pesquisador responsável: _____ Data: __/__/____

APÊNDICE B: Questionário para coleta de opinião sobre o Braille- CM-TUI para Professores

Gostaríamos que você respondesse as questões abaixo sobre a sua percepção da ferramenta Braille-CM-TUI para nos ajudar a melhorá-la.

INFORMAÇÕES GERAIS	
Escola:	
Disciplina:	
Idade:	
Gênero:	() Masculino () Feminino
	() Vidente () Cego () Baixa visão

Por favor, marque uma opção de acordo com o quanto você concorda ou discorda de cada afirmação abaixo.

AFIRMAÇÕES	Discordo Totalmente	Discordo	Nem discordo, nem concordo	Concordo	Concordo Totalmente
Minha experiência com o jogo foi positiva.					
Mesmo sabendo que é um protótipo, eu gostei da experiência de usá-lo.					
Eu usaria o jogo em minhas aulas.					
Os estudantes vão gostar de usar o jogo.					
Eu recomendaria esse jogo para os meus colegas.					
O design do jogo é adequado.					
A voz utilizada pelo jogo é adequada.					
O relevo do braille das peças é perceptível para o cego.					
A textura das peças do jogo é adequada.					
O tamanho, a forma e as cores das peças são adequadas.					
Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar o jogo.					
Aprender a usar o jogo foi fácil para mim.					
A maioria dos estudantes cegos aprenderiam a usar rapidamente este jogo.					
Ler um mapa conceitual no jogo é fácil.					
Montar um mapa conceitual no jogo é fácil					
As orientações fornecidas pelo jogo são claras e compreensíveis.					
O jogo orienta a montagem de mapa conceitual.					
É fácil encaixar as peças na base.					
O tom e o volume da voz utilizada pelo jogo são adequados.					
É possível diferenciar as peças de encaixar umas das outras com facilidade.					
A caixa organizadora facilita a localização das peças.					
O teclado para interagir com o jogo é acessível para o cego.					
O jogo protege o estudante cego de cometer erros.					
O jogo fornece mensagens sobre os erros.					
As mensagens sobre os erros são fáceis de compreender.					
Quando um erro é cometido é fácil de recuperar-se rapidamente.					
O jogo é útil para ensinar mapas conceituais para estudantes cegos.					
O jogo pode melhorar o ensino de conceitos em sala de aula.					
O jogo pode facilitar a aprendizagem de conceitos dos estudantes cegos.					
Com o jogo pode-se verificar o nível de aprendizagem do estudante cego.					
O jogo é útil para a aquisição de conhecimento pelos estudantes cegos.					

Você encontrou alguma dificuldade ao usar o protótipo? Se sim, descreva quais foram: _____

Cite aspectos positivos sobre a ferramenta: _____

Cite aspectos negativos sobre a ferramenta: _____

Dê sugestões para a melhoria para o Braille-CM-TUI: _____

Para qual(is) conteúdo(s) você usaria o Braille-CM-TUI? _____

Que recursos poderiam ser adicionados à ferramenta para torná-la mais prática? _____

Você acha que seria benéfico permitir a criança acionar o *feedback* por comando de voz? _____

Você usaria a ferramenta para outra finalidade? Alfabetização braille, por exemplo? _____

Você acha fácil manter e consertar o jogo? _____

Você considera barato os materiais utilizados no jogo? _____

Comentários adicionais: _____

Muito obrigado pela sua contribuição!

Nome do pesquisador responsável: _____ Data: ___/___/___

APÊNDICE C: Sequência Didática sobre o conto "Negócio de menino com menina"

Tema: trabalhando o conto com mapas conceituais.

Objetivo: dominar a estrutura de um conto; identificar os elementos da estrutura no texto; ler texto em braille; interpretar texto; leitura e escrita de mapas conceituais em braille.

Conhecimentos prévios: conhecer o gênero literário conto; interpretar textos literários; ser fluente em braille; conhecer mapas conceituais.

Recursos: o conto "Negócio de menino com menina" impresso em Braille; o Braille-CM-TUI para desenvolver as atividades de mapas conceituais 2, 3, 4 e 5.

Atividades da Sequência:

- **Atividade: 1**

Enunciado: Professor verifique com o estudante se ele já conhece o conto. Se sim, pergunte sobre o que se trata. Senão, pergunte a ele o que imagina acerca do título. Na sequência, apresente o conto para ser lido pelo estudante. Após a leitura, confirme com o estudante a previsão feita por ele.

Lista de conceitos: não há.

Tipo de atividade: conversação, pode acontecer em uma rodada de conversa sem usar o Braille-CM-TUI.

Mapa da atividade: não há.

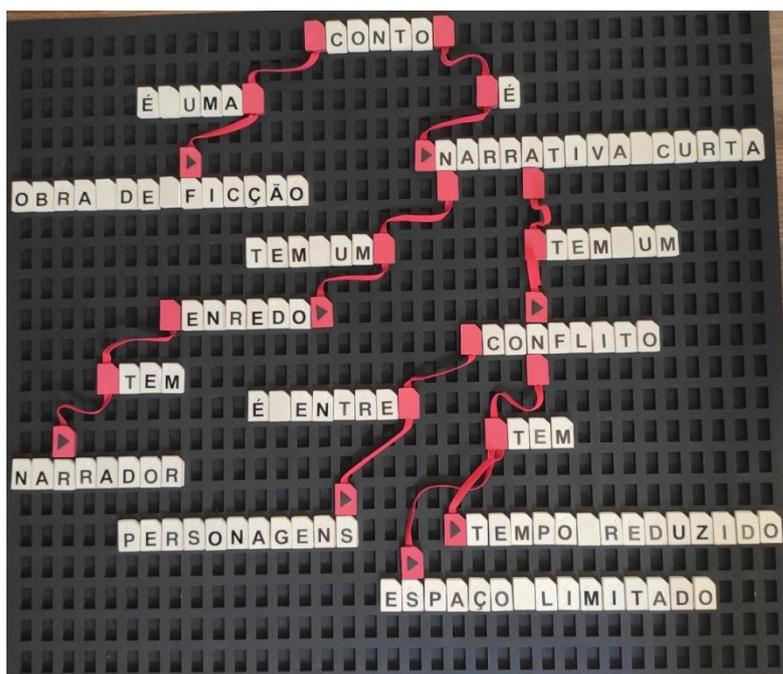
- **Atividade: 2.**

Enunciado: leia o mapa da atividade e responda em poucas palavras o que é narrado?

Lista de conceitos: não há.

Tipo de atividade: Apresentar CM

Mapa da atividade:



Com resposta falada? Sim.

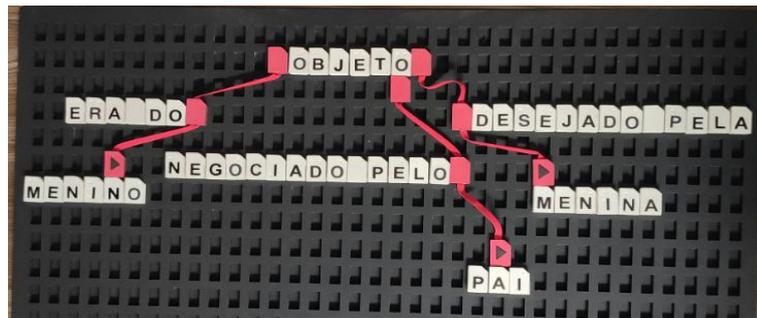
- **Atividade: 3.**

Enunciado: Observe o mapa, ele mostra que o conto trata da "negociação" de um objeto entre três pessoas com classes sociais diferentes: o menino pobre, o pai e a menina que são ricos. O menino estava andando pela estrada de terra da fazenda carregando o objeto. Passam por ele de carro o pai e a menina. A menina vê o objeto e pede ao seu pai que compre-o para ela. O pai é o fazendeiro e é quem tenta comprar o objeto do menino oferecendo dinheiro. Qual era o objeto? Corrija o mapa substituindo o conceito objeto pelo nome correto. Você pode utilizar a lista de conceitos para ajudar na correção.

Lista de conceitos: gaiola, passarinho, bicicleta velha, saco de feijão.

Tipo de atividade: Corrigir CM.

Mapa da atividade:



Nº de erros: 1.

- **Atividade: 4.**

Enunciado: pode-se interpretar a partir do texto que ele trata de problemas sociais e econômicos. Fala de um menino que é filho de empregados de fazenda que leva uma vida simples e humilde, de um homem que é o dono da fazenda e sua filha, gente de São Paulo. Encontre no texto duas características do menino que indicam a sua condição de pobreza e complete no mapa.

Lista de conceitos: não há.

Tipo da atividade: Completar CM.

Mapa da atividade:



- **Atividade: 5.**

Enunciado: Quem conseguiu convencer o menino a doar o passarinho? O pai? Ou a menina? Construa um mapa com até 4 proposições para descrever o personagem escolhido.

Lista de conceitos: não há.

Tipo de atividade: Construir CM.

Negócio de menino com menina – Ivan Ângelo

O menino, de uns dez anos, pés no chão, vinha andando pela estrada de terra da fazenda com a gaiola na mão. Sol forte de uma hora da tarde. A menina de uns nove anos ia de carro com o pai, novo dono da fazenda. Gente de São Paulo. Ela viu o passarinho na gaiola e pediu ao pai:

_ Olha que lindo! Compra pra mim?

O homem parou o carro e chamou:

_ Ô menino.

O menino voltou, chegou perto, carinha boa. Parou do lado da janela da menina. O homem:

_ Este passarinho é pra vender?

_ Não senhor.

O pai olhou para a filha com uma cara de deixa pra lá.

A filha pediu suave como se o pai tudo pudesse:

_ Fala pra ele vender.

O pai, mais para atendê-la, apenas intermediário:

_ Quanto você quer pelo passarinho?

_ Não tou vendendo não senhor.

A menina ficou decepcionada e segredou:

_ Ah, pai, compra.

Ela não considerava, ou não aprendera ainda, que negócio só se faz quando existe um vendedor e um comprador.

No caso, faltava o vendedor.

Mas o pai era um homem de negócios, águia da Bolsa, acostumado a encorajar os mais hesitantes ou a virar a cabeça dos mais recalcitrantes:

_ Dou dez mil.

_ Não senhor.

_ Vinte mil.

_ Vendo não.

O homem meteu a mão no bolso, tirou o dinheiro, mostrou três notas, irritado.

_ Trinta mil.

_ Não tou vendendo, não, senhor.

O homem resmungou “que menino chato” e falou pra filha:

_ Ela não quer vender. Paciência.

A filha, baixinho, indiferente às impossibilidades da transação:

_ Mas eu queria. Olha que bonitinho.

O homem olhou a menina, a gaiola, a roupa encardida do menino, com um rasgo na manga, o rosto vermelho de sol.

_ Deixa comigo.

Levantou-se, deu meia volta, foi até lá. A menina procurava intimidade com o passarinho, dedinho nas frestas da gaiola. O homem, maneiro, estudando o adversário:

_ Qual é o nome deste passarinho?

_ Ainda não botei nome nele, não. Peguei ele agora.

O homem, quase impaciente:

_ Não perguntei se ele é batizado não, menino. É pintassilgo, é sábia, é o quê?

_ Aaaah. É bico-de-lacre.

A menina, pela primeira vez, falou com o menino:

_ Ele vai crescer?

O menino parou os olhos pretos nos olhos azuis.

_ Cresce nada. Ele é assim mesmo, pequenininho.

O homem:

_ Canta?

_ Canta nada. Só faz chiar assim.

_ Passarinho besta, hein?

_ É. Não presta pra nada. É só bonito.

_ Você Pegou ele dentro da fazenda?

_ É. Aí no mato.

_ Essa fazenda é minha. Tudo que tem nela é meu.

O Menino segurou com mais força a alça da gaiola, ajudou com a outra mão nas grades. O homem achou que estava na hora e falou já botando a mão na gaiola, dinheiro na outra mão.

_ Dou quarenta mil! Toma aqui.

_ Não senhor, muito obrigado.

O Homem, meio mandão:

_ Vende isso logo, menino. Não ta vendo que é pra menina?

_ Não, não tou vendendo não.

_ Cinquenta mil! Toma! _ e puxou a gaiola.

Com cinquenta mil se comprava um saco de feijão, ou dois pares de sapatos, ou uma bicicleta velha.

O menino resistiu, segurando a gaiola, voz trêmula.

_ Quero não senhor. Tou vendendo não.

_ Não vende por quê, hein? Por quê?

O menino acuado, tentado explicar:

_ É que eu demorei a manhã todinha pra pegar ele e tou com fome e com sede, e queria ter ele mais um pouquinho.

Mostrar pra mamãe.

O homem voltou para o carro, nervoso. Bateu a porta, culpando a filha pelo aborrecimento.

O menino chegou pertinho da menina e falou baixo, para só ela ouvir:

_ Amanhã eu dou ele pra você. Ela sorriu e compreendeu.

APÊNDICE D:

Mapeamento Sistemático sobre Interfaces Tangíveis para apoiar o ensino do Braille

Franciele Beal^{1,2}, Laura Sánchez García¹

¹Programa de Pós-graduação em Informática – Universidade Federal do Paraná (UFPR)
80.050-540 – Curitiba – PR – Brasil.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos (DV),
Coordenadoria de Engenharia de Software (COENS), PR – Brasil.

fbeal@utfpr.edu.br, laura@inf.utfpr.br

Abstract. *A phenomenon called "desbrailização" has generated negative consequences for the education of the blind. It's the replacement of Braille with audio technologies. Braille is indispensable for the education of the blind. Thus, in this work a systematic mapping of studies published in the last 10 years in the area of Tangible User Interface as an educational resource was carried out for teaching Braille. The results reveal a small amount of work in the area, suggesting a research opportunity to be explored.*

Resumo. *Um fenômeno chamado de "desbrailização" tem gerado consequências negativas na educação dos cegos. Trata-se da substituição do Braille por tecnologias de áudio. O Braille é indispensável para a educação do cego. Desta forma, este trabalho realizou um mapeamento sistemático de estudos publicados nos últimos 10 anos na área de Interfaces Tangíveis como recurso educacional para ensino do Braille. Os resultados revelam uma pequena quantidade de trabalhos na área, sugerindo uma oportunidade de pesquisa a ser explorada.*

1. Introdução

O Braille [American Foundation for the Blind 2019] é o sistema de escrita e leitura em relevo utilizado pelos cegos que é interpretado pelo tato. Letras e símbolos são representados em um espaço retangular chamado de cela Braille que é formada por 6 pontos distribuídos em 3 linhas e 2 colunas.

Em complemento ao Braille, existem as tecnologias de áudio que tem como objetivo possibilitar o acesso às informações e ao conhecimento que estão disponíveis em meio digital por meio de *softwares* que fazem a leitura do que está na tela do computador. Com elas ficou mais fácil ouvir que ler em Braille e isso está fazendo com que o Braille seja substituído gerando a "desbrailização" [Davanzo Batista 2018]. A "desbrailização" coloca em risco a educação dos cegos porque o texto áudio não ensina a ler e a escrever. Ele não possibilita reconhecer a ortografia das palavras e a estrutura de um texto [Martinez et al. 2018]. Desta forma, as tecnologias de áudio não são suficientes para a alfabetização.

O Braille é indispensável para a educação dos cegos. Segundo a OMS, pessoas cegas têm mais chances de vivenciar taxas mais altas de pobreza e levar uma vida marcada por desigualdades. De acordo com a Convenção Internacional sobre os Direitos das

Pessoas com Deficiência, o Braille é essencial porque é um meio de comunicação, liberdade de expressão e opinião, que possibilita o acesso à informação e a inclusão social [Nações Unidas do Brasil 2019]. A pessoa cega que é fluente em Braille e faz o uso dele tem mais chances de obter sucesso, independência, maior probabilidade de conseguir emprego, renda maior e satisfação no trabalho [Stanfa e Johnson 2017]. Além disso, o Braille melhora a autoestima e o bem estar dessas pessoas cegas [Silverman e Bell 2018].

Considerando a importância do Braille para o cego e o problema da "desbrailização", acredita-se que o resgate do Braille em atividades de alfabetização e principalmente de letramento ¹, pode ajudar a desenvolver e trazer melhorias na leitura e na escrita Braille.

Além disso, a utilização de tecnologia com interação tangível pode estimular e favorecer o aprendizado do Braille. Uma Interface Tangível (TUI - *Tangible User Interface*) tem como objetivo dar forma física para informações digitais para que possam ser manipuladas por meio de objetos físicos [Ishii 2008] o que pode torná-la adequada aos cegos. Ademais, segundo [Moreira e Baranauskas 2015], as TUIs tem se destacado como recurso auxiliar em ambientes educacionais inclusivos.

Desta forma, a pesquisa aqui relatada investigou trabalhos que utilizam TUI, para responder as seguintes questões de pesquisa: *Quais TUIs existem para atividades de alfabetização ou letramento Braille? Quais são suas características e limitações para apoiar atividades de letramento Braille?* Para a investigação proposta, optou-se por um Mapeamento Sistemático (MS) para categorizar e sintetizar informações existentes sobre o uso de TUI para o ensino do Braille e revelar lacunas desse espaço de pesquisa. O MS incluiu estudos publicados em bases digitais nacionais e internacionais da área de Informática na Educação entre os anos 2010 e 2019. A busca foi realizada de forma automática em quatro bases que retornaram 382 artigos. Após aplicação de critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 10 artigos que são apresentados neste trabalho que está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é descrita a metodologia de pesquisa. A Seção 3 apresenta os resultados do mapeamento e a discussão. Na Seção 4 a conclusão e trabalhos futuros.

2. Metodologia de Pesquisa

Este trabalho utilizou como base as diretrizes apresentadas por [Kitchenham e Charters 2007] e seu objetivo está baseado no paradigma Goal-Question-Metric, ou GQM [Basili e Rombach 1988]: *analisar* ambientes computacionais baseados em TUI *com o propósito de* identificar e caracterizar *em relação a* tecnologias e recomendações para a construção de TUI para o ensino do Braille *do ponto de vista de* pesquisadores da área de Interação Humano Computador (IHC) e designers *no contexto de fontes primárias (com foco em* Informática na Educação, IHC e TUI) disponíveis em bases digitais.

¹Este trabalho segue as definições de alfabetização e letramento propostas por [Soares 1999]. A alfabetização compreende atividades para a aquisição do sistema Braille por meio da codificação e decodificação da escrita. Já o letramento é o desenvolvimento do uso competente da leitura e da escrita Braille em práticas sociais [Soares 1999]. Outros autores também reforçam a diferença do letramento para a alfabetização [Foucambert 2008] e [Freire 1987].

2.1. Questões de Pesquisa

A partir das questões de pesquisa principais foram definidas outras cinco questões específicas:

- **QP1:** Qual a tecnologia (RFID, visão computacional, microcontroladores, entre outras) utilizada na implementação da TUI?
- **QP2:** Como as crianças interagem com o ambiente e quais tipos de *feedback* são dados à elas?
- **QP3:** Como esses trabalhos foram testados e por quem?
- **QP4:** Possui limitações em relação ao apoio às atividades de letramento?
- **QP5:** Os trabalhos apresentam recomendações ou requisitos para o projeto de TUIs para cegos?

2.2. Definição da *String* de Busca e das Bases

Para a definição das palavras-chave e o agrupamento dos termos para formar a *string* de busca foi utilizada a metodologia PICOC (População, Intervenção, Comparação, Resultado e Contexto) proposto por [Kitchenham e Charters 2007]: (a) População: "*blind children*", "*blind people*", *blind*, "*visually impaired*", "*visual impairments*", *blindness*, *braille*; (b) Intervenção: "*tangible interaction*", "*tangible user interface*", "*tangible interface*", "*tangible technology*", *TUI*; (c) Resultados: *education*, "*educational technology*", *teaching*, *learning*, *literacy*. Onde, *População* se refere aos usuários para os quais as TUIs são projetadas; *Intervenção* se refere ao que se quer encontrar; e, *Resultados* corresponde o que se quer atender, ou melhorar. O termo *Comparação* não se aplica, pois, o objetivo é categorizar as TUI, não compará-las. O termo *Contexto* não se aplica devido o fato de não haver comparação.

Para obter os estudos primários relevantes para essa pesquisa, foram utilizadas as seguintes bibliotecas digitais: IEEEExplore², Scopus³, Web of Science⁴ e o Portal de Publicações da CEIE⁵.

Os idiomas escolhidos foram o Inglês e o Português. O Inglês foi escolhido por ser o idioma mais utilizado em conferências e periódicos da área. Já o Português, foi escolhido porque este trabalho está sendo desenvolvido no Brasil e se quer investigar estudos em nível nacional. Desta forma, para a base CEIE foi utilizada tanto *string* de busca em Português, quanto em Inglês. As palavras no plural foram adicionadas explicitamente na *string* de busca. Para a busca na base CEIE foi construída uma *string* auxiliar juntando os termos em inglês e português. As *strings* de buscas utilizadas são apresentadas (Tabela 1):

Na base CEIE foi utilizado o asterísco * para tratar palavras no plural e também para reduzir o tamanho da *string* porque o campo de busca no site tem tamanho limitado.

²IEEE Explorer - <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

³Scopus - <https://www.scopus.com/>

⁴<https://clarivate.com/products/web-of-science/>

⁵CEIE - <http://br-ie.org/pub/index.php/index/search> Armazena trabalhos de CBIE (Congresso Brasileiro de Informática na Educação), RBIE (Revista Brasileira de Informática na Educação), SBIE (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação) e WIE (Workshop de Informática na Escola)

Tabela 1. Strings de busca utilizadas nas bases

Bases	String
IEEE Explorer, Scopus e Web of Science	<i>("tangible interaction" OR "tangible user interface" OR "tangible interface" OR "tangible technology" OR "tangibles users interfaces" OR "tangibles interfaces" OR "tangibles technologies" OR TUI) AND (education OR "educational technology" OR "educational technologies" OR teaching OR learning OR literacy) AND ("blind children" OR "blind child" OR "blind people" OR blind OR "visually impaired" OR "visual impairments" OR blindness OR braille)</i>
CEIE	<i>(tangibl* OR *tangí* OR TUI) AND (*educa* OR teaching OR ensino OR learning OR aprendizagem OR literacy OR alfabetização OR letramento) AND (blind* OR *cega* OR cego* OR cegueira OR visua*impair* OR defici*visua* OR braille)</i>

2.3. Seleção dos Estudos

Os estudos retornados com a aplicação das *strings* de buscas em cada uma das bases foram analisados um a um, considerando o título e o *abstract*. Para garantir uma seleção imparcial, foram definidos critérios de inclusão e de exclusão de estudos. Critérios de inclusão:

- Artigos que apresentam TUI em sala de aula em atividades de alfabetização ou letramento Braille;
- Artigos que apresentam requisitos para a construção de TUI para crianças cegas.

Critérios de exclusão:

- Relatórios técnicos, apresentações, índices, notas e comentários;
- Artigos com mais de 10 anos;
- Artigos duplicados;
- Artigos que não estão em português, ou inglês;
- Versões mais antigas do artigo;
- Artigos sem acesso (link indisponível, não disponibilizado pelas máquinas de buscas, etc.);
- Artigos que não estão relacionados com o uso de TUI como recurso educacional para cegos ou que não contribuem para orientar o processo de construção.

A pesquisa foi realizada no período do dia 02/05/2019 ao dia 07/05/2019. Foram retornados automaticamente 382 artigos. Na sequência foi realizada a leitura dos títulos e dos resumos e foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão. Foi gerada uma lista com 47 estudos selecionados. Na sequência, foi realizada a leitura integral dos artigos selecionados e os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados novamente. Durante o processo de leitura integral 37 estudos foram rejeitados e enquadrados em critérios de exclusão, sendo 10 estudos aceitos. A próxima seção apresenta os dados e informações extraídos desses estudos.

3. Resultados do Mapeamento

De acordo com os dados extraídos dos estudos, eles foram publicados entre os anos 2010 e 2018 (Figura 1). Como pode-se perceber foram publicados estudos nos últimos 3 anos o

que indica que as tecnologias tangíveis vem sendo estudadas em ambientes educacionais inclusivos e que existem pesquisas recentes. Essa informação serve de motivação para seguir na linha das TUI.



Figura 1. Quantidade de publicações por ano

Em relação à localização geográfica das publicações, 2 estudos são de pesquisadores da Arábia Saudita, outros 2 estudos são do Brasil e os demais são de pesquisadores da Alemanha, Espanha, Finlândia, França, Paquistão e Suécia.

3.1. Respondendo às Perguntas de Pesquisa

Este MS teve como objetivo responder as questões de pesquisa apresentadas na seção 2. Desta forma, os dados foram extraídos com base nessas questões. Para tal os trabalhos foram divididos em 2 grupos. O primeiro grupo é formado por 5 trabalhos ([Jafri 2014], [Sánchez García et al. 2016], [Forcelini et al. 2018], [Lozano et al. 2018] e [Maher et al. 2018]) que apresentam soluções de TUI para alfabetização e letramento Braille. Esse grupo é usado para responder todas as questões de pesquisa. Os demais trabalhos formam o grupo 2 ([McGookin et al. 2010], [Brulé et al. 2016], [Rühmann et al. 2016], [Ávila-Soto et al. 2017] e [Jafri et al. 2017]). Esses trabalhos são sobre TUI para cegos, porém, são voltados ao ensino de outros conceitos como geometria, funções matemáticas e geografia. Apesar de não serem voltados ao ensino do Braille eles foram selecionados porque apresentam informações relevantes para responder a QP5.

A Tabela 2 apresenta a descrição dos trabalhos do grupo 1.

A Tabela 3 apresenta a resposta da QP1 sobre as tecnologias utilizadas, ou sugeridas, na construção das TUIs.

Sobre como as crianças interagem com esses ambientes e quais tipos de *feedback* são fornecido à elas (resposta da QP2), os trabalhos [Jafri 2014], [Sánchez García et al. 2016], [Forcelini et al. 2018] e [Maher et al. 2018] fornecem interação por toque e áudio. [Lozano et al. 2018] fornece interação por toque, fala e áudio. A interação por meio do toque diz respeito a pegar o tangível, sentir sua forma e/ou informações táteis e posicionar na superfície. No caso do trabalho de [Maher et al. 2018], a interação por toque ocorre por meio de botões presentes na cela Braille eletrônica que são pressionados para formar o caracter Braille enviado ao computador. A interação por fala se refere à respostas faladas. O áudio foi utilizado para orientar os usuários durante a utilização das TUIs e dar *feedback* de acordo com as suas ações.

⁶OPENCV - <https://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>

Tabela 2. Trabalhos sobre TUI para alfabetização e letramento Braille

Trabalho	Descrição	Escopo
Jafri (2014)	Aplicativo baseado em interface tangível para ensinar o reconhecimento de letras em Braille para crianças cegas.	Alfabetização
Sánchez García et al. (2016)	Uma plataforma de interação tangível como apoio à atividades de construção de textos em Braille para crianças cegas.	Letramento
Forcelini et al. (2018)	Arquitetura de ambiente interativo tangível de baixo custo para apoiar atividades de construção de textos em Braille para combater a "desbrailização".	Letramento
Lozano et al. (2018)	TUI para facilitar a aprendizagem de números em Braille, texturas, formas e geometria para crianças com deficiência visual.	Alfabetização
Maher et al. (2018)	Um <i>framework</i> de baixo custo baseado em TUI para apoiar a escrita Braille para crianças com deficiência visual.	Letramento

Outra informação investigada nesse estudo foi saber com quem foram realizados os testes nos ambientes (resposta da QP3). [Jafri 2014] realizou consultoria com professores de Braille e não apresenta resultados de testes em protótipo. [Sánchez García et al. 2016] descreveram entrevista semiestruturada e teste em protótipo com professor cego. [Forcelini et al. 2018] realizaram teste em protótipo com professores e crianças cegas. [Lozano et al. 2018] não apresenta resultados de testes na funcionalidade números em Braille. Em [Maher et al. 2018] foi relatado teste em protótipo com crianças cegas.

Os trabalhos apresentados na Tabela 2 também foram analisados para identificar limitações em relação ao apoio às atividades de letramento Braille (QP4). Os trabalhos de [Jafri 2014] e [Lozano et al. 2018] são voltados ao apoio da alfabetização. [Sánchez García et al. 2016] e [Forcelini et al. 2018] são propostas de soluções para apoiar vários tipos de atividade de letramento que envolvem basicamente a construção e a leitura crítica de textos significativos em Braille, sendo limitado como apoio a atividades que envolvam construções mais complexas como mapas conceituais. [Maher et al. 2018] é voltado ao ensino da escrita Braille. A leitura do que é escrito é feita por sintetizador de voz com a possibilidade de realizar a impressão em Braille para fazer a leitura tátil e apresenta a mesma limitação de [Sánchez García et al. 2016] e [Forcelini et al. 2018] em relação a atividades de letramento e de representação do conhecimento de maneira geral com construções em Braille mais complexas.

Para responder a QP5 foram utilizados os trabalhos dos Grupo 1 e Grupo 2. Os trabalhos revisados no MS trouxeram requisitos e recomendações úteis para orientar o *design* e a implementação de TUI para cegos:

- Os objetos tangíveis devem ser estáveis e com encaixes fortes e firmes para não desmontar facilmente ([McGookin et al. 2010], [Sánchez García et al. 2016], [Rühmann et al. 2016] e [Forcelini et al. 2018]);
- O tamanho dos tangíveis deve ser adequado para a percepção tátil, tangíveis muito

Tabela 3. Resposta da QP1.

Trabalho	Tecnologia
Jafri (2014)	Blocos com letras em Braille gravadas nas laterais e etiquetas NFC (do inglês <i>Near Field Communication</i>) fixadas nas suas bases que são reconhecidas por tecnologia RFID (do inglês <i>Radio-Frequency IDentification</i>)
Sánchez García et al. (2016)	Blocos de montar LEGO® adaptados para o alfabeto Braille ou celas Braille em EVA cujas imagens são capturadas e processadas por Visão Computacional com a biblioteca OPENCV ⁶
Forcelini et al. (2018)	Celas Braille em EVA cujas imagens são capturadas e processadas por Visão Computacional com a biblioteca OPENCV
Lozano et al. (2018)	Objetos tangíveis com etiquetas NFC para reconhecimento por RFID
Maher et al. (2018)	Cela Braille eletrônica que utiliza microcontroladores

- pequenos ou ampliados podem não ser reconhecidos [Ávila-Soto et al. 2017];
- A base ou área de trabalho deve ter tamanho que permita construções significativas conforme contexto de uso [Forcelini et al. 2018];
 - Usar linhas de referência na base de montagem da TUI para facilitar o alinhamento dos tangíveis [Ávila-Soto et al. 2017];
 - Utilizar uma caixa organizadora para facilitar a localização dos tangíveis durante o uso da TUI [Lozano et al. 2018];
 - Dar preferência às tecnologias e materiais de baixo custo para a construção dos tangíveis ([Jafri 2014], [Forcelini et al. 2018] e [Maher et al. 2018]);
 - Possibilitar ao professor formas e métodos "*Do-It-Yourself*" para ele construir os objetos tangíveis ([Jafri et al. 2017] e [Brulé et al. 2016]);
 - O *design* e o desenvolvimento do ambiente TUI devem ser realizados em conjunto com designers e professores de crianças cegas [Sánchez García et al. 2016];
 - Prezar pela qualidade estética visual, auditiva e tátil, pois é benéfico para a inclusão e pode desencadear emoções positivas [Brulé et al. 2016];
 - O processo de interação deve utilizar recursos multimodais e recursos multimídia para melhorar e enriquecer a comunicação durante o processo de utilização[Sánchez García et al. 2016];
 - A TUI deve fornecer interação mais natural possível e levar em consideração as habilidades motora e cognitiva de crianças cegas[Sánchez García et al. 2016];
 - O sistema deve fornecer *feedback* para orientar, motivar e dar autonomia para a criança durante o uso da TUI [Lozano et al. 2018];
 - As atividades de letramento devem ser planejadas para serem significativas e suportar trabalhos interativos e colaboração[Sánchez García et al. 2016];
 - Os cenários de uso devem ser lúdicos e envolver as crianças, de preferência via jogos ([Brulé et al. 2016] e [Forcelini et al. 2018]).

A arquitetura proposta por [Forcelini et al. 2018] e o *framework* proposto por [Maher et al. 2018] também podem ser usados como referência em projetos de TUIs para crianças cegas.

3.2. Discussão

Os resultados do MS mostraram que as TUI vem sendo utilizadas para apoiar atividades de alfabetização e letramento Braille. Entre os trabalhos do grupo 1, 2 deles são de autoria de pesquisadores brasileiros e são voltados ao apoio do letramento Braille. Os outros trabalhos são de pesquisadores estrangeiros sendo 1 deles voltado ao letramento e os demais à alfabetização. Os 3 trabalhos sobre letramento apoiam atividades de construção de textos em Braille, mas apresentam limitações para apoiar atividades de construções em Braille mais complexas como os mapas conceituais, o que demonstra a relevância de atuar nesse nicho de pesquisa. Em relação as tecnologias utilizadas por esses trabalhos, os 2 trabalhos brasileiros usam a visão computacional e a biblioteca OPENCV. Já os demais trabalhos usam RFID e microcontroladores (3 trabalhos). Entre as tecnologias usadas, a visão computacional parece ser a que viabiliza uma TUI com custo mais baixo. Isso porque as *webcams* são mais baratas que sensores, leitores RFID e microcontroladores. Além disso, são encontradas com mais facilidade em ambientes educacionais.

Em relação aos tipos de interações que as crianças podem ter com os ambientes foi observado que é unânime o uso do toque entre os trabalhos do grupo 1. Em ambiente interativo tangível para o ensino do Braille o toque é indispensável porque o Braille é um sistema de leitura e escrita tátil. Apenas um trabalho do grupo fornece interação por meio da fala para o usuário fornecer resposta falada. Também foi observado que o *feedback* auditivo é unanimidade entre os trabalhos e é utilizado para conduzir e orientar o usuário sobre a realização das atividades nas TUI.

Ainda sobre os trabalhos do grupo 1, foi observado que 2 deles consultaram e entrevistaram professores de Braille para orientar o *design* das TUIs. Um deles não apresentou testes em protótipo e o outro testou o protótipo com professor cego. Em relação aos demais trabalhos do grupo, dois deles realizaram testes em protótipos com professores e crianças cegas e um deles não apresentou testes na funcionalidade de números Braille do protótipo. Foi observado que a participação dos professores durante o processo de *design* e construção se confirma como uma metodologia necessária pela comunidade científica. Isso foi percebido por um dos trabalhos dos brasileiros que traz esse fato como requisito para elaboração de TUIs para crianças cegas. Em relação aos testes com crianças cegas, parece ser a forma mais adequada e indicada de validar uma TUI voltada ao ensino do Braille, sempre que não for possível envolvê-las no próprio *design*.

Além disso, a partir dos trabalhos revisados (grupo 1 e grupos 2) foi possível extrair um conjunto de recomendações e requisitos que pode ser utilizado como guia para a construção de um ambiente computacional com TUI para apoiar atividades de letramento Braille.

4. Conclusão

Foi apresentado um MS que teve como objetivo investigar ambientes computacionais baseados em TUI para apoiar o ensino do Braille. Foram investigados trabalhos publicados nos últimos 10 anos em um conjunto de bases digitais conhecidas e consolidadas no meio científico. Dez trabalhos foram selecionados utilizando metodologia baseada em Kitchenham e Charters (2007). Essa pequena quantidade de trabalhos sugere que pouco se pesquisa e se produz em termos de TUI para o ensino do Braille. Isso, juntamente com os resultados atuais de pesquisas na área do ensino da leitura em Braille que garantem a sua

necessidade para o acesso à plena cidadania pelas pessoas cegas ([Stanfa e Johnson 2017], [Davanzo Batista 2018], [Martinez et al. 2018] e [Silverman e Bell 2018]), mostra a relevância da continuidade da pesquisa.

Os resultados deste MS mostram que as TUIs apresentadas possuem limitações em relação ao apoio de atividades que envolvem construções em Braille mais complexas como os mapas conceituais, sugerindo uma oportunidade de pesquisa a ser explorada. Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se expandir este MS para o público cegos adultos, investigar se existem trabalhos que apresentam orientações práticas, ferramentas, ou *softwares* para apoiar a construção de mapas conceituais em Braille.

Referências

- American Foundation for the Blind (2019). O que é Braille? <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/braille/what-braille>. Acessado em: 2019-05-16.
- Ávila-Soto, M., Valderrama-Bahamóndez, E., e Schmidt, A. (2017). TanMath: A Tangible Math Application to support children with visual impairment to learn basic Arithmetic. In *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '17*, pages 244–245, New York, New York, USA. ACM Press.
- Basili, V. e Rombach, H. (1988). The TAME project: towards improvement-oriented software environments. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(6):758–773.
- Brulé, E., Bailly, G., Brock, A., Valentin, F., Denis, G., Jouffrais, C., e Brule, E. (2016). MapSense: Multi-Sensory Interactive Maps for Children Living with Visual Impairments. In *Proceedings of the Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI*, San José. ACM.
- Davanzo Batista, R. (2018). *O PROCESSO DE ALFABETIZAÇÃO DE ALUNOS CEGOS E O MOVIMENTO DA DESBRAILIZAÇÃO*. PhD thesis, Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP).
- Forcelini, P. G., García, L. S., e Schultz, E. P. B. (2018). Braille technology beyond the financial barriers: A braille literacy platform to effectively combat braille literacy crisis. In *Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion - DSAI 2018*, pages 41–46, New York, New York, USA. ACM Press.
- Foucambert, J. (2008). *Modos de ser leitor: Aprendizagem e ensino da leitura no ensino fundamental*. Editora UFPR, Curitiba.
- Freire, P. (1987). *A importância do ato de ler*. Cortez Editora, São Paulo, 18 edition.
- Ishii, H. (2008). The tangible user interface and its evolution. *Communications of the ACM*, 51(6):32.
- Jafri, R. (2014). Electronic Braille Blocks: A Tangible Interface-Based Application for Teaching Braille Letter Recognition to Very Young Blind Children. pages 551–558. Springer, Cham.
- Jafri, R., Aljuhani, A. M., e Ali, S. A. (2017). A tangible user interface-based application utilizing 3D-printed manipulatives for teaching tactual shape perception and spatial

- awareness sub-concepts to visually impaired children. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11:3–11.
- Kitchenham, B. e Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01, Software Engineering Group Department of Computer Science Keele University.
- Lozano, M.-D., Penichet, V. M. R., Leporini, B., e Fernando, A. (2018). Tangible User Interfaces to Ease the Learning Process for Visually-Impaired Children. In *Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference (HCI 2018)*, pages 1–5, Belfast, UK.
- Maher, R. R., Baqai, A., e Jan, M. (2018). Cost Effective Frame Work for implementing Elementary Education for Visually Impaired. In *2018 5th International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC)*, pages 1–7. IEEE.
- Martinez, A. B. C., Barros, A. S. S. e., e Santos, A. C. (2018). Letramentos de jovens cegos: estudo de caso em escolas do distrito de Braga. *Colóquio Luso-Brasileiro de Educação - COLBEDUCA*, 3(0).
- McGookin, D., Robertson, E., e Brewster, S. (2010). Clutching at straws: using tangible interaction to provide non-visual access to graphs. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI '10*, page 1715, New York, New York, USA. ACM Press.
- Moreira, E. e Baranauskas, M. C. (2015). Tecnologias tangíveis e vestíveis como recursos para ambiente inclusivo: uma revisão sistemática. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE)*, volume 26, page 842.
- Nações Unidas do Brasil (2019). Primeiro Dia Mundial do Braille destaca importância da linguagem escrita para os direitos humanos. <https://nacoesunidas.org/primeiro-dia-mundial-do-braille-destaca-importancia-da-linguagem-escrita-para-os-direitos-humanos/>. Acessado em: 2019-03-29.
- Rühmann, L. M., Otero, N., e Oakley, I. (2016). A Tangible Tool for Visual Impaired Users to Learn Geometry. In *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '16*, pages 577–583, New York, New York, USA. ACM Press.
- Sánchez García, L., Hilton Sayeg de Siqueira, J., Bueno, J., e Galera Forcelini, P. (2016). A Tangible Interaction Platform as Concrete Support for Blind Children Literacy in Braille. pages 135–146. Springer, Cham.
- Silverman, A. M. e Bell, E. C. (2018). The Association between Braille Reading History and Well-being for Blind Adults. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 8(1).
- Soares, M. (1999). *Letramento: um tema em três gêneros*. Autêntica, São Paulo.
- Stanfa, K. e Johnson, N. (2017). Improving Reading Fluency in Braille Readers Using Repeated Readings. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 7(1).

APÊNDICE E:

Introduzindo Mapas Conceituais para estudantes com cegueira via recursos tangíveis

Franciele Beal^{1,2}, Laura Sánchez García¹

¹Programa de Pós-graduação em Informática – Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba – Paraná – Brasil.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Dois Vizinhos – Paraná – Brasil.

fbeal@utfpr.edu.br, sg.laura@gmail.com

Abstract. *The concept map is a graphical tool to represent organized knowledge. Because it is visual, it is not taught to people with blindness. This work presents a tangible resource that was developed for blind students to build concept maps in braille. A sequence of activities were planned and executed using this resource to introduce the concept maps for 4 blind students from public schools. The account of this experience is presented in this article.*

Resumo. *O Mapa Conceitual é uma ferramenta gráfica para representar o conhecimento organizado. Por ser visual, não é ensinado às pessoas com cegueira. Este trabalho apresenta um recurso tangível que foi desenvolvido para estudantes com cegueira construir mapas conceituais em braille. Uma sequência de atividades foi planejada e executada usando tal recurso para introduzir os mapas conceituais para 4 estudantes com cegueira do ensino público. O relato dessa experiência é apresentado neste artigo.*

1. Introdução

O Mapa Conceitual (MC) [Novak e Cañas 2010] é uma ferramenta gráfica para representar e organizar o conhecimento. A natureza gráfica dos MCs faz com que eles não sejam explorados e ensinados em sala de aula aos estudantes com cegueira e baixa visão pois não são considerados acessíveis a eles. No entanto, a literatura permitiu identificar trabalhos ([Sanchez e Flores 2010], [Kachhap e Mane 2019]) que mostram que, com adaptações, é possível que as pessoas com cegueira e baixa visão possam usufruir das vantagens da adoção dos MC ao longo de sua Educação. Diante dessa problemática, surgiu a ideia de desenvolver um recurso tangível para estudantes cegos aprenderem MC fazendo uso do braille. O braille [American Foundation for the Blind 2019] é o sistema de escrita e leitura em relevo percebido pelo tato utilizado pelas pessoas com cegueira. Letras e símbolos são representados em um espaço retangular chamado de "cela braille", formada por 6 pontos distribuídos em 3 linhas e 2 colunas. O braille é indispensável para a educação das pessoas cegas e necessário à plena inclusão das mesmas na sociedade [Nações Unidas do Brasil 2019]. A importância do braille também é reconhecida pela indústria internacional como mostra o projeto LEGO® Braille Bricks, uma iniciativa da Fundação Dorina Nowill onde os blocos de montar originais foram adaptados para uma versão em braille com o intuito de apoiar a alfabetização de crianças com deficiência visual e ao mesmo tempo em que lhes proporcionam atividades de lazer [Freitas 2019].

O recurso desenvolvido na pesquisa relatada neste artigo foi utilizado para introduzir MC para 4 estudantes com cegueira da rede de ensino pública do Paraná durante o Atendimento Educacional Especializado (AEE). Trata-se de uma aplicação de sequência didática utilizando este recurso que faz parte de um trabalho de doutorado sobre um ambiente computacional para apoiar atividades de letramento braille com MC, chamado de CM-Braille-TUI (do inglês, *Concept Maps - Braille-Tangible User Interface*). O presente trabalho traz um relato dessa experiência e está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 trata de Mapas Conceituais; a Seção 3 discute trabalhos relacionados; a Seção 4 apresenta a metodologia; a Seção 5 mostra o recurso tangível; a Seção 6 a execução da sequência didática e seus resultados e, por fim, a Seção 7 traz as conclusões e aponta para trabalhos futuros.

2. Os Mapas Conceituais

Os MCs, ferramentas para representar e organizar o conhecimento de forma gráfica, são fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa defendida pelo pesquisador norte-americano David Paul Ausubel (1918-2008) e têm como principal objetivo representar o conhecimento organizado. Eles foram criados por Joseph Novak e colaboradores, nos Estados Unidos em meados da década de 70. Na aprendizagem significativa, um conhecimento novo interage com conhecimentos pré-existent na estrutura cognitiva do aprendiz criando relações, significados e ampliando a sua rede de conhecimentos [Ausubel 2003].

Um MC consiste em diagramas que exibem relações entre conceitos [Moreira 2010]. Os conceitos são representados por nós e as relações entre eles por linhas que os conectam num sentido de leitura indicado por uma seta. Sobre essas linhas existe um rótulo que é um verbo ou uma frase verbal de ligação que determina de que forma os conceitos origem e destino se relacionam do ponto de vista semântico. Os conceitos são granularidades observadas em acontecimentos ou coisas que são representados por uma ou mais palavras. Dois ou mais conceitos conectados por um verbo ou uma frase verbal de ligação formam uma proposição, que é uma afirmação com sentido [Novak e Cañas 2010]. A Figura 1 apresenta um exemplo de MC com seus componentes (conceito, conector, rótulo e proposição) destacados por linhas tracejadas. Os conceitos aparecem em caixas e estão estruturados hierarquicamente. Já os conectores são representados por linhas sólidas com setas que indicam sentido. A composição ligando dois conceitos (*Braille – é formado por → Cela Braille*, p.ex.) é uma proposição que destaca o significado da relação, por isso, é necessário selecionar rótulos precisos [Novak e Cañas 2010]. De acordo com Moreira (2010), não existe regra fixa para traçar MC. Em domínios classificatórios, é possível adotar um modelo hierárquico, onde conceitos mais gerais e inclusivos situam-se no topo da hierarquia e conceitos mais específicos na base. Mas outros modelos podem ser adotados conforme a necessidade de relacionamentos existentes, como o de rede e piramidal, entre outros. Quanto à construção dos MCs, Novak e Cañas (2010) recomendam que eles sejam elaborados a partir de uma questão focal, à qual o mapa deverá responder. A questão focal é importante porque define o contexto para o MC e delimita o tamanho e a organização hierárquica. Conhecendo a questão focal, pode-se iniciar o processo identificando os conceitos-chave e organizando-os em uma lista ordenada dos conceitos mais gerais aos mais específicos. Os autores falam também sobre o tamanho do mapa, chamando a atenção para o fato de que um

mapa com um número de conceitos muito grande pode se tornar confuso e ilegível, anulando ou limitando as vantagens intrínsecas ao conceito de MC [Novak e Cañas 2010].

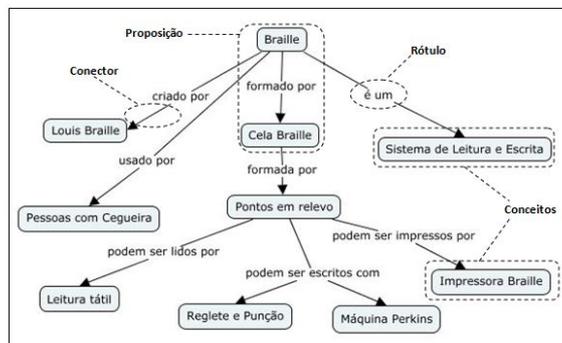


Figura 1. Exemplo de MC e seus componentes (Fonte: os autores).

3. Trabalhos Relacionados

O trabalho de Cañas et al. (2016) apresenta o problema enfrentado pelos usuários iniciantes em MC que é saber quando o seu mapa está completo para parar de adicionar mais conceitos. Os usuário iniciantes tendem a construir mapas excessivamente detalhados difíceis de ler e de compreender. Porém, a medida que eles progridem, eles tendem a criar mapas menores e mais concisos. Para isso, os autores sugerem que o iniciante comece com mapas simples para compreender os conceitos de "conceito", "relacionamento", "proposição" e "foco". A construção de mapas simples é a base para aprender a construir bons mapas. Estas recomendações foram adotadas no presente trabalho quando o conceito de MC foi introduzido para estudantes com cegueira. Ainda sobre o trabalho de Cañas et al. (2016), para determinar o tamanho adequado do mapa deve-se levar em consideração o objetivo do mapa e o público-alvo. Além disso, os autores citam o Software Cmaptools¹ como uma ferramenta que facilita a construção de MC, observando, porém, que ela possui muitos recursos visuais não acessíveis às pessoas com cegueira ou baixa visão. O recurso desenvolvido na pesquisa relatada no presente trabalho é uma alternativa ao CmapTools para a população com cegueira e baixa visão.

O trabalho de Sanchez e Flores (2010) é sobre um software baseado em áudio para estudantes com deficiência visual construírem MC. O software, chamado de AudiodMC, foi projetado para ser usado com o teclado, tanto para selecionar ações específicas quanto para navegar no mapa que está sendo criado. Cada ação que o usuário executa no AudiodMC gera um feedback de áudio para orientar as suas ações. O AudiodMC proporcionou ideias para o nosso trabalho. No entanto, embora ele seja adequado para as pessoas com cegueira e baixa visão, ele faz uso de tecnologia de áudio e não promove o contato direto com a leitura e a escrita em braille, indispensável para a educação e para o alcance da cidadania plena pelas pessoas com cegueira ([Stanfa e Johnson 2017],[Silverman e Bell 2018],[Nações Unidas do Brasil 2019]).

O trabalho de Kachhap e Mane (2019) apresenta os desafios enfrentados pelos alunos cegos para construir MC e sugerem adaptações que podem torná-los acessíveis.

¹CmapTools - disponível em <https://cmap.ihmc.us/cmaptools/>.

De acordo com os autores, a maior dificuldade para uma pessoa com cegueira elaborar um MC é organizar os conceitos no espaço. A falta de percepção do espaço de trabalho e do posicionamento dos elementos no todo podem dificultar a elaboração. Além disso, o tamanho do mapa também foi apontado como um desafio. Neste ponto, os autores dizem que um mapa muito detalhado e com muitos conceitos pode ser confuso e ilegível para o cego. A leitura tátil é sequencial e fragmentada, o que exige memória. Se o mapa for muito detalhado, o aluno pode perder-se na leitura do todo. Com o objetivo de mitigar a ocorrência desse problema, os autores sugerem adaptações entre as quais: a utilização de MC tátil, com informações textuais em braille, ou em áudio, e com tamanho adequado ("menor é melhor"). A pesquisa de Kachhap e Mane (2019) é inicial, mas os autores acreditam que com as adaptações corretas os cegos podem ter acesso e fazer o uso dos MC. Com este objetivo, e baseados em Kachhap e Mane (2019), os autores do trabalho relatado no presente artigo, optaram por trabalhar com mapas pequenos, tangíveis e em braille.

4. Metodologia

O projeto relatado neste artigo consistiu no planejamento e na execução de atividades de construção de MC com (e por) 4 alunos cegos da rede de ensino pública do Paraná matriculados no 8º ano do ensino fundamental. As atividades foram desenvolvidas durante o horário do AEE em Sala de Recursos Multifuncionais (SRM). O intuito deste projeto foi prepará-los para a sua participação, como usuários, dos futuros experimentos de avaliação do CM-Braille-TUI. Todos os participantes são cegos e fluentes em braille. Todos os procedimentos realizados neste projeto tinham sido submetidos e aprovados em Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos nº CAAE 13364419.9.0000.0102.

Foi planejada uma sequência didática com 4 atividades de MC. O conteúdo trabalhado foi baseado no Banco Nacional Comum Curricular (BNCC) sobre Ciências, do 7º Ano Ensino Fundamental, unidade temática Terra e Universo, objeto de conhecimento Fenômenos Naturais (vulcões, terremotos e tsunamis) e Efeito Estufa. Isto porque tanto os autores como as professoras consideraram necessário que os estudantes já conhecessem o tema com o qual eles trabalhariam para construir o MC, de maneira a focar exclusivamente o ensino e a aprendizagem de MC. Sobre as atividades da sequência, a primeira delas teve como objetivo introduzir o tema e verificar se os estudantes participantes da pesquisa conheciam o conceito de MC. A segunda atividade teve por objetivo ensinar os conceitos de "conceito", "relacionamentos", "palavras de ligação" e "proposições". A terceira teve como objetivo construir um MC a partir da leitura de um texto sobre o tema "Tsunami" e entender a questão focal. Para esta atividade os alunos leram um texto em braille sobre o tema que tinha sido retirado pelos autores da Internet do site TodaMatéria² e que foi transcrito para o braille por umas das professoras. A leitura foi realizada pelos estudantes no início da atividade. Já a quarta atividade teve como objetivo praticar a leitura do MC. Para isso, foi apresentado um MC pronto, construído pelo pesquisador, sobre o aquecimento global como resultado da intensificação do efeito estufa. Após a leitura, os alunos construíram textos com as proposições do MC usando a reglete, o punção e a máquina Perkins.

²TodaMatéria - é um site com conteúdos escolares destinados ao apoio à educação no Brasil com acesso livre para alunos e professores - <https://www.todamateria.com.br/>.

Sobre os participantes, dois deles frequentam a mesma SRM de uma escola municipal, enquanto os outros dois frequentam outra SRM em outra escola estadual. Neste trabalho eles foram identificados pelos códigos AL1, AL2, AL3 e AL4. As atividades foram executadas durante o horário do AEE. Foram 3 encontros para cada participante. Dois dos participantes fizeram o primeiro encontro juntos e os outros encontros de forma individual. Já os outros dois participantes realizaram todos os encontros individualmente. As atividades foram acompanhadas por um dos pesquisadores e pelas professoras das SRMs; uma das professoras acompanhou de forma integral e a outra acompanhou de forma parcial, pois havia outros estudantes do AEE para ela atender simultaneamente.

5. Recurso Tangível para construir MC

Para ensinar MC para os estudantes cegos foi desenvolvido um recurso tangível. Trata-se de um jogo de peças de encaixar para montar MC que é utilizado como interface tangível de usuário (TUI, do inglês *Tangible User Interface*) no CM-Braille-TUI. Tal jogo foi utilizado desplugado e é composto por peças (Figura 2(a)) confeccionadas em EVA branco 5mm, tamanho 3X2cm, com o caractere braille em relevo, o caractere em Português impresso em preto e encaixe tipo caixa; a base (Figura 2(b)) em MDF preto tamanho 80X70cm com encaixes tipo caixa; os conectores (Figura 2(d)) feitos em EVA vermelho 5mm com elásticos na mesma cor, tendo as setas em relevo na cor preta; a caixa organizadora (Figura 2(c)) em MDF com tamanho 50X50cm com divisórias (com etiquetas braille) para as peças e para os conectores, onde as peças ficam arranjadas em ordem alfabética. A quantidade de peças para cada letra foi calculada com base na frequência de ocorrência das letras em textos em Português, disponível em [Portal Aldeia Numaboia 2009]. O jogo confeccionado possui ao todo aproximadamente 300 peças. Sobre a decisão da quantidade dos conectores, foi confeccionado um número que os pesquisadores acreditaram adequado considerando MCs simples, 17.

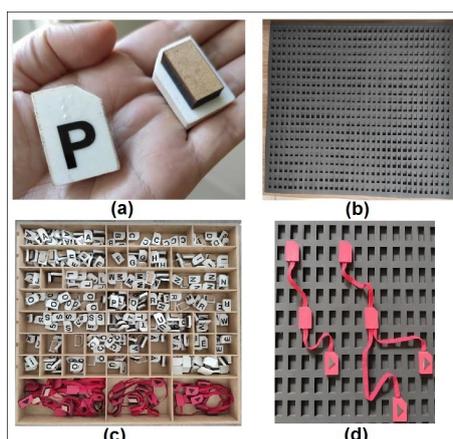


Figura 2. O jogo de peças de encaixar (Fonte: os autores).

Este trabalho tem suas raízes nos trabalhos de Sánchez García et al. (2016) e Forcelini et al. (2018) projetos que usaram interação tangível para apoiar atividades de letramento envolvendo a construção de textos em braille. As peças do jogo apresentado neste trabalho é uma nova versão das peças do protótipo da TUI de Forcelini et al. (2018) que utilizou uma versão do braille ampliado nas peças (Figura 3). Segundo Bruno e da Mota (2001), para a leitura tátil corrente é necessário que os pontos em relevo sejam

precisos e que o seu tamanho não ultrapasse a área da ponta dos dedos. Por isso, os pontos em relevo das peças do CM-Braille-TUI foram escritos usando a reglete e o punção, instrumentos tradicionais para a escrita em braille. Além disso, buscando acessibilidade financeira, o jogo foi desenvolvido usando materiais de baixo custo usados na fabricação de jogos pedagógicos conhecidos no meio escolar, tais como, EVA, MDF e elásticos. O braille foi escrito em folha plástica transparente na qual também foi impressa a letra do alfabeto em Português usando impressora jato de tinta. Essa folha foi fixada no EVA com fita dupla face. Os cortes do EVA e da base foram feitos em máquina com corte a laser em uma marcenaria.



Figura 3. Protótipo de TUI mínima em EVA e MDF de Forcelini et al. (2018) (Fonte: adaptado de Forcelini et al. (2018), página 43, figura 2)

O jogo de montar MC apresentado neste trabalho é a TUI do ambiente CM-Braille-TUI, onde a entrada é realizada por visão computacional. Uma câmera posicionada acima da base de montagem do jogo faz imagens dos MC montados pelos usuários e utiliza algoritmos que fazem o reconhecimento (via processamento digital de imagem) e a interpretação (via reconhecimento óptico de caracteres) do MC e fornecem feedback de áudio ao usuário. Desta forma, para facilitar o trabalho desses algoritmos, foram utilizadas as cores de contraste (preto, vermelho e branco) e as letras impressas nas peças. No presente trabalho o jogo foi utilizado desplugado do ambiente CM-Braille-TUI e esses algoritmos não foram utilizados.

6. Execução da Sequência Didática e Resultados

A execução da sequência didática aconteceu em momentos diferentes em cada SRM, de acordo com os horários e a disponibilidade dos participantes. Sobre a atividade que introduzia o tema MC, todos os participantes disseram desconhecer o conceito de MC. Para mostrar um MC a eles, o pesquisador solicitou aos participantes até 5 palavras que eles recordavam sobre o tema Vulcões. As palavras levantadas pelos estudantes foram montadas na base do jogo por eles mesmos, uma abaixo da outra. Depois o pesquisador usou essas palavras para montar um MC. Para todos os estudantes este foi o primeiro contato com um MC. Para a execução da Atividade 2, aprendendo sobre conceitos, relações e proposições, foi solicitado aos participantes que escrevessem uma lista com até 5 conceitos sobre o tema Terremoto que eles recordavam. Um dos alunos (AL2) teve dificuldades com o tema Terremoto e para mantê-lo motivado na atividade, o tema foi mudado. Em conversas anteriores com a professora do AEE, ela tinha dito que esse estudante gostava muito de assuntos relacionados aos países que falam o idioma Espanhol. Então foi selecionado o tema Argentina. Com o novo tema, ele conseguiu criar uma lista com 4 conceitos relacionados a esse país. A Figura 4 apresenta os conceitos levantados sobre o tema Terremoto pelo AL4 e Argentina no caso do participante AL2.

Após escrever a lista de conceitos-chave, cada estudante foi encorajado a pensar qual a relação que cada uma das palavras tinha com o tema Terremoto e que palavras poderiam ser usadas para explicar a relação entre elas. Ao AL2 solicitou-se que ele pensasse



Figura 4. Levantamento de conceitos-chave sobre o tema Terremoto pelo AL4 e Argentina pelo AL2 (Fonte: os autores).

nas relações dentro do tema Argentina. Com ajuda do pesquisador, os MCs foram elaborados baseados nos conceitos e nas palavras de ligação levantadas por eles. Durante a elaboração do MC falou-se sobre o que são os conceitos e os rótulos (palavras de ligação) e sobre a sua importância para a construção de proposições. Além disso, o pesquisador mostrou como as proposições são construídas e a função da seta na extremidade do conector que indica o sentido da leitura da proposição.

A atividade 3 foi a mais desafiadora para os estudantes, pois tratou da construção de um MC. Para essa atividade foi utilizado o texto em braille sobre o tema Tsunami. Inicialmente os estudantes fizeram a leitura. Na sequência, listaram os conceitos para responder à pergunta focal "O que você entendeu ou lhe chamou mais à atenção sobre Tsunami?". Finalmente, construíram o mapa. Não foi estabelecido um número limite de conceitos. O AL1 partiu diretamente para a construção do MC. Ele construiu sozinho o MC, sem ajuda do pesquisador ou da professora do AEE (Figura 5 (a)). Apesar de o MC ser pequeno (Figura 5 (a)), ele demonstrou que o aluno tem concepção de espaço, da organização dos conceitos e dos rótulos na base. Os mapas produzidos pelos demais alunos tiveram o auxílio do pesquisador e da professora para a montagem, inclusive o MC do AL3 apresentado na Figura 5(b).

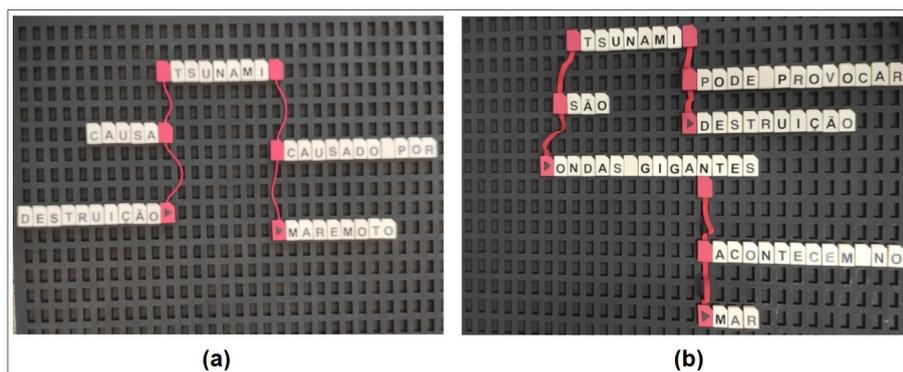


Figura 5. MCs construídos por AL1 e AL3 para a atividade 3 (Fonte: os autores).

Em relação à execução da Atividade 4, construindo um texto a partir de um MC, foi solicitado que cada estudante construísse um texto usando a máquina Perkins ou a reglete e o punção sobre o MC da Figura 6(a) montado na base do jogo pelo pesquisador. Para essa atividade, os estudantes tinham que fazer a leitura do mapa e usar somente as proposições do mapa para construir um texto. Apenas o participante AL4 não conseguiu concluir essa atividade pois o encontro foi cancelado devido à pandemia mundial

do Novo coronavírus (COVID-19)³. Os demais participantes usaram as proposições do MC conforme solicitado na atividade, o que demonstrou que eles conseguiram fazer a leitura correta do mapa e entenderam o significado das proposições e a estrutura do mapa. Os textos produzidos pelos estudantes foram transcritos por suas professoras da SRM. A Figura 6(b) apresenta o texto produzido pelo AL2.

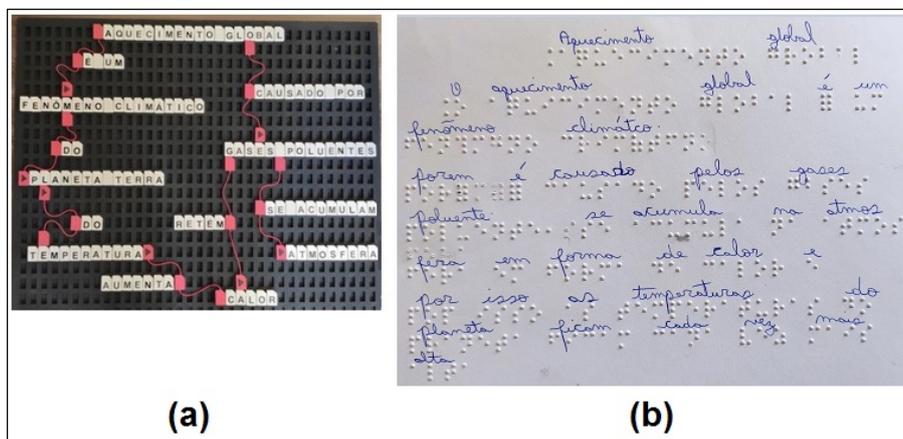


Figura 6. Mapa da atividade 4 e o texto produzido pelo AL2 (Fonte: os autores).

Durante a realização das atividades, alguns dos estudantes trocaram caracteres braille por outros na hora de escrever (montar) algumas palavras. De acordo com as professoras isso acontece e pode ser resolvido com o treino e o uso do braille, afirmação que reforça as justificativas para a solução criada. Sobre o recurso tangível, o reconhecimento das peças, os encaixes e desencaixes foram realizados por todos sem dificuldades. O relevo do braille mostrou-se perceptível e adequado. Alguns sentimentos percebidos nos participantes durante a realização das atividades foram entusiasmo e confiança. O jogo de encaixar foi acolhido por todos os participantes, o que consideramos representar o êxito do projeto. Algo interessante relatado por um deles foi "Eu achava que o braille era só como é na reglete.", e completou dizendo que tinha percebido que existem outras formas de usar o braille. Em relação às professoras, umas delas fez o seguinte comentário: "Eu até agora nunca tinha visto esse mapa adaptado, tão legal e tão bem pensado para os alunos". O retorno das professoras e dos estudantes motiva os autores a continuar no desenvolvimento do projeto e da tese onde ele está inserido. Cabe informar que as professoras solicitaram que, após os experimentos, os autores deixassem um kit para a escola, solicitação que foi recebida com satisfação pelos autores, pela oportunidade, construída em conjunto, de apoiar a educação pública com material didático comprovadamente útil.

Durante o uso do jogo, foram percebidas diferentes formas de manipulá-lo pelos usuários. Em relação à busca pelas peças na caixa foram observadas duas formas: 1) Iniciavam a busca pelo canto superior esquerdo, passando pelas divisórias das peças da esquerda para a direita até encontrar a divisória da peça desejada; 2) Busca aleatória: dependendo da letra, o usuário calculava mentalmente a posição da divisória da peça na caixa (mais no início, meio ou final da caixa) para iniciar a busca a partir daquela posição. Com base nestas observações, percebeu-se que podem ser feitas mudanças na caixa para facilitar o processo de busca, à semelhança de algoritmo de busca conhecido. A caixa

³COVID-19 - <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>

pode ser dividida em 4 caixas menores para reduzir o espaço de busca. A primeira caixa poderia agrupar as letras de A a M, a segunda de N a Z, a terceira as letras acentuadas e o Ç e a quarta com os conectores e as peças de espaço em branco. Desta forma, se o usuário buscar pela letra P, por exemplo, ele iria buscar na segunda caixa onde a letra P estaria na terceira divisória, agilizando a busca. Sobre como os usuários encontravam as peças na caixa e transferiam para a base para escrever as palavras, foram observadas duas formas de uso: 1) Os usuários buscavam as peças na caixa na ordem em que elas apareciam na palavra e iam transferindo para a base peça por peça; 2) Os usuários encontravam as peças na caixa e colocavam elas soltas ao lado da caixa em um monte até encontrar todas as peças necessárias para, só depois, ler peça por peça daquele amontoado, encaixar na base e formar a palavra. Para facilitar estas duas formas de uso, pode ser construída uma mini base intermediária de montagem para apenas uma palavra ou frase de ligação para deixar ao lado da caixa, onde o usuário vai organizando e encaixando as peças, (evitando a necessidade de retrabalho na percepção, na compreensão e na ordenação) para depois transferi-las na ordem certa para a base. Essa mini base funcionaria como uma área de transferência e poderia também ser usada para mudar um conceito ou rótulo de lugar para o outro para reorganizar o mapa.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou a execução de uma sequência didática de atividades que foram planejadas para introduzir o tema MC para 4 estudantes cegos do 8º ano do ensino fundamental. A execução aconteceu em SRM onde esses alunos recebem o AEE acompanhados de suas professoras especializadas. Para realizar as atividades de MC eles utilizaram o CM-Braille-TUI. Para todos os estudantes, este foi o primeiro contato com um MC. Apesar disso, todo eles conseguiram realizar as atividades propostas na sequência didática. A atividade de maior dificuldade foi a de construir um MC, que exigiu bastante auxílio do pesquisador durante a realização. No entanto, é uma atividade viável, como pode-se ver no caso do AL1 que construiu um MC sozinho. Além disso, foram identificadas possibilidades de melhorias no jogo que serão incorporadas em trabalhos futuros. Durante a realização das atividades, foram observadas dificuldades com a escrita braille. Estas dificuldades ainda presentes em estudantes da oitava série, juntamente com a afirmação de especialistas na educação de pessoas com cegueira de o domínio da leitura e da escrita em braille serem necessárias ao alcance do pleno emprego, entre outros direitos ([Stanfa e Johnson 2017], [Silverman e Bell 2018], [Nações Unidas do Brasil 2019]), demonstram, mais uma vez, a emergência da apropriação da tecnologia, também, no apoio à aquisição destas capacidades ao longo de todo o ciclo escolar. Em relação aos MC, todos os estudantes mostraram-se aptos a trabalhar com eles não tendo apresentado impedimentos significativos. Isso pode servir com um indicativo de que, com adaptações e recursos adequados, a ferramenta MC pode ser trabalhada com estudantes com cegueira.

Referências

- American Foundation for the Blind (2019). What Is Braille? <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/braille/what-braille>. Acessado em: 2019-05-16.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Plátano Edições Técnicas, Lisboa.

- Bruno, M. M. G. e da Mota, M. G. B. (2001). *Programa de Capacitação de Recursos Humanos do Ensino Fundamental: deficiência visual vol. 2 Fascículo IV (Série Atualidades Pedagógicas; 6)*. Brasília - DF. http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/def_visual_2.pdf. Acessado em: 2020-07-07.
- Cañas, A. J., Reiska, P., e Novak, J. D. (2016). Is my concept map large enough? In *Communications in Computer and Information Science*, pages 128–143. Springer Verlag.
- Forcelini, P. G., García, L. S., e Schultz, E. P. B. (2018). Braille technology beyond the financial barriers: A braille literacy platform to effectively combat braille literacy crisis. In *Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion - DSAI 2018*, pages 41–46, New York, New York, USA. ACM Press.
- Freitas, F. (2019). Fundação Dorina e LEGO Foundation lançam LEGO Braille Bricks para crianças com deficiência visual. <https://www.fundacaodorina.org.br/blog/fundacao-dorina-e-lego-lancam-braille-bricks/>. Acessado em: 2019-10-10.
- Kachhap, S. e Mane, K. H. (2019). Concept Mapping for Students with Viual Impairment: Practices and Challenges. *Journal of Disability Management and Special Education (JODYS)*, 2(1):6–15.
- Moreira, M. A. (2010). *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*. São Paulo, 1 edition.
- Nações Unidas do Brasil (2019). Primeiro Dia Mundial do Braille destaca importância da linguagem escrita para os direitos humanos. <https://nacoesunidas.org/primeiro-dia-mundial-do-braille-destaca-importancia-da-linguagem-escrita-para-os-direitos-humanos>. Acessado em: 2019-03-29.
- Novak, J. D. e Cañas, A. J. (2010). A Teoria Subjacente aos Mapas Conceituais e como Elaborá-los e Usá-los. *Práxis Educativa (Brasil)*, 5(1).
- Portal Aldeia Numaboa (2009). Frequência de ocorrência de letras no Português. <http://www.numaboa.com.br/criptografia/criptoanalise/310-Frequencia-no-Portugues>. Acessado em: 2020-06-22.
- Sanchez, J. e Flores, H. (2010). Concept mapping for virtual rehabilitation and training of the blind. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18(2):210–219.
- Silverman, A. M. e Bell, E. C. (2018). The Association between Braille Reading History and Well-being for Blind Adults. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 8(1).
- Stanfa, K. e Johnson, N. (2017). Improving Reading Fluency in Braille Readers Using Repeated Readings. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 7(1).
- Sánchez García, L., Hilton Sayeg de Siqueira, J., Bueno, J., e Galera Forcelini, P. (2016). A Tangible Interaction Platform as Concrete Support for Blind Children Literacy in Braille. pages 135–146. Springer, Cham.